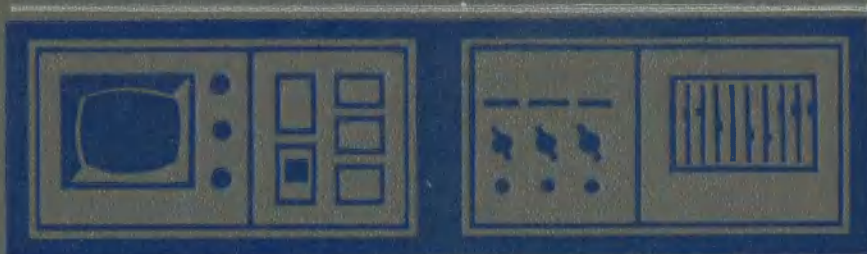


Справочник по радиоизмерительным приборам



2

Справочник по радиоизмерительным приборам

Под редакцией
В. С. НАСОНОВА

том 2

Измерение частоты,
времени и мощности.
Измерительные генераторы



МОСКВА «СОВЕТСКОЕ РАДИО» 1977

УДК 621.317

Справочник по радиоизмерительным приборам. Под ред. В. С. Насонова. Т. 2. Измерение частоты, времени и мощности. Измерительные генераторы. М., «Сов. радио», 1977. 272 с.

Авт.: Алехин Ю. И., Ананчев Б. И., Афанасов С. Г. и др.

Приведены технические характеристики выпускаемых промышленностью радиоизмерительных приборов для приема эталонных частот, сигналов точного времени и сличения частот, квантовомеханических стандартов частоты, кварцевых генераторов, приборов для синтеза частоты и сигналов времени, приборов для измерения частоты, информационно-измерительных систем, генераторов радиочастотных сигналов в диапазоне от инфранизких до сверхвысоких частот, приборов для измерения мощности радиочастотных сигналов. Пояснены принципы их построения. Даны рекомендации по выбору типов приборов для конкретных измерительных задач. Рассмотрены способы и особенности их применений в автоматизированных измерительных системах.

Справочник предназначен для широкого круга специалистов, занимающихся вопросами радиоизмерений в различных областях народного хозяйства.

Рис. 239, табл. 17, библи. 8 назв.

Алехин Ю. И., Ананчев Б. И., Афанасов С. Г., Билько М. И., Булатов Е. И., Гладконогих В. В., Домбровский А. С., Елисе-ев А. А., Еремин Р. Н., Зотов Ю. Ф., Зуев Э. В., Никифоров Л. Б., Павловский О. П., Пашев Г. П., Рудаков Ю. Н., Садовский А. Б., Соколов В. П., Томашевский А. К., Филиппов В. Г.

Редакция радиотехнической литературы

С $\frac{30405-054}{046(01)-77}$ 7-77

© Издательство «Советское радио», 1977 г.

Оглавление

Предисловие	4
ГЛАВА 1. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ И ЧАСТОТЫ	5
1.1. Общие сведения	5
1.2. Классификация приборов для приема сигналов образцовых частот, сигналов точного времени и сличения частот	6
1.3. Приборы для приема сигналов образцовых частот, сигналов точного времени и сличения частот	17
1.4. Классификация опорных кварцевых генераторов и кварцевых стандартов частоты	31
1.5. Опорные кварцевые генераторы и кварцевые стандарты частоты	34
1.6. Классификация квантово-механических стандартов частоты	39
1.7. Квантовомеханические стандарты частоты	43
1.8. Классификация аппаратуры синтеза сигналов времени	53
1.9. Аппаратура синтеза сигналов времени	57
1.10. Классификация аппаратуры синтеза частот сигналов	67
1.11. Аппаратура синтеза частот	70
1.12. Классификация электронно-счетных частотомеров	79
1.13. Электронно-счетные частотомеры	84
1.14. Классификация сменных блоков к электронно-счетным частотомерам	106
1.15. Сменные блоки к электронно-счетным частотомерам	114
1.16. Классификация систем сбора и обработки данных. Информационно-измерительные системы	127
1.17. Системы сбора и обработки данных	137
Список литературы	148
ГЛАВА 2. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ	149
2.1. Общие сведения	149
2.2. Инфранизкочастотные генераторы сигналов специальной формы	156
2.3. Генераторы сигналов низкочастотные	165
2.4. Генераторы радиовещательного диапазона	181
2.5. Генераторы метрового и дециметрового диапазонов	194
2.6. Генераторы СВЧ диапазона	205
2.7. Генераторы с диапазонно-кварцевой стабилизацией	227
ГЛАВА 3. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ	237
3.1. Общие сведения	237
3.2. Ваттметры поглощаемой мощности калориметрические	247
3.3. Ваттметры поглощаемой мощности термисторные	253
3.4. Ваттметры поглощаемой мощности термоэлектрические	262
3.5. Ваттметры поглощаемой мощности импульсные	263
3.6. Ваттметры для оптического диапазона длин волн	265
3.7. Ваттметры для звукового диапазона длин волн	267
Список литературы	268
Предметный указатель	269
Алфавитный указатель	270

Предисловие

Правильный выбор измерительных средств во многом определяет успех проведения того или иного эксперимента или организации процесса производства.

Успехи в развитии вычислительной техники, микроэлектроники, физики во многом определили качественные изменения в принципах построения радиоизмерительных приборов. Сложность приборов значительно возросла. Многие из них стали многофункциональными, т. е. объединяющими в себе возможности нескольких прежних моделей приборов, автоматизированными, способными обрабатывать получаемую информацию.

Данный справочник ставит задачу помочь специалистам самых различных отраслей науки и техники правильно оценить возможности радиоизмерительных приборов, а следовательно, более точно сформулировать и более оптимально решить возникающие перед ними измерительные задачи.

В томе 2 справочника рассматриваются радиоизмерительные приборы для приема эталонных частот, сигналов точного времени, квантовомеханические стандарты частоты, кварцевые генераторы, приборы для синтеза частот и сигналов времени, измерения частоты, информационно-измерительные системы, генераторы радиочастотных сигналов в диапазоне от инфранизких до сверхвысоких частот, в том числе генераторы специальной формы сигналов, и приборы для измерения мощности радиочастотных сигналов.

В вводной части, предшествующей каждой главе, посвященной описанию

определенной группы приборов, приведены сведения, содержащие определения измеряемых величин, дана информация о методах измерения, положенных в основу построения радиоизмерительных приборов, а также отмечены некоторые наиболее важные особенности применения приборов. При описании радиоизмерительных приборов, их технических характеристик обращено особое внимание на возможность их использования совместно с другими приборами, приведены примеры построения отдельных измерительных схем. Эти сведения позволят специалистам различных областей науки и техники более правильно подойти к выбору измерительного прибора, необходимого для решения той или иной конкретной задачи измерения.

Третий том справочника будет посвящен таким приборам, как осциллографы, генераторы импульсов, модулометры, измерители девиации частоты, анализаторы спектра, измерительные приемники, селективные вольтметры, измерители параметров импульсов, временных интервалов, коэффициента шума.

Обозначение приборов, их расположение по группам приведено в соответствии с ГОСТ 15094-69.

Авторы выражают глубокую признательность Л. И. Панкратову за ценные советы по построению справочника и высказанные замечания.

Особую благодарность авторы выражают М. П. Максимек и Н. Л. Гришановой, взявшим на себя труд по подготовке рукописи к печати.



Глава 1

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ И ЧАСТОТЫ

1.1. Общие сведения

Измерения основной физической величины — времени и ее производной — частоты, а также воспроизведение и хранение единиц их измерения — секунды и герца лежат в основе большинства измерительных задач, решаемых обществом в процессе научной и производственной деятельности. Точностью измерений времени и частоты всегда определялись прогресс и приоритет научных экспериментов и исследований, достоверность испытаний новой техники, новых видов оборудования. Рассматриваемые приборы необходимы при всех радиотехнических измерениях, так как обеспечивают измерение всех основных параметров радиосигналов, используемых для передачи информации, и многих физических величин, преобразуемых в интервалы времени и частоту.

Аппаратура для частотно-временных измерений представляет единый комплекс приборов, позволяющий осуществлять автоматические измерения времени и частоты с высокой точностью и с привязкой к Государственному эталону времени и частоты СССР. Серийно выпускаемые приборы допускают агрегатирование в специализированные установки и системы, которые позволяют реализовать новый подход к научным и техническим проблемам, фундаментальным и прикладным исследованиям.

Основой частотно-измерительной аппаратуры является группа стандартов частоты, включающая водородный, рубидиевый, цезиевый и кварце-

вые стандарты, которые воспроизводят и хранят единицу времени — секунду и единицу частоты — герц (точность ± 1 мкс за год). Благодаря квантовомеханическим стандартам частоты точность воспроизведения, хранения и выдачи единиц времени и частоты по сравнению со стандартом частоты Ч1—1Б («Авангард») повысилась на пять порядков. Создана новая группа диапазонных стандартов частоты — синтезаторов частот сигналов, формирующих высокостабильные по частоте и амплитуде сигналы с программным переключением частот во всем радиодиапазоне. Это позволило проводить фазовые, частотные и спектральные измерения в широком диапазоне частот, повысить их точность и довести разрешающую способность измерений до уровня флуктуационных явлений, автоматизировать поверочные и контрольно-испытательные работы. Время измерений этими приборами в 30—50 раз меньше, чем традиционными гетеродинами частотомерами.

Широкое распространение временных методов измерений привело к тому, что приборы для сличения частот и синтеза сигналов времени стали выполнять в виде приборов не только специального назначения, но и общего применения. Они осуществляют начальную установку и синхронизацию часовых систем, разнесенных в пространстве, по сигналам эталонных частот и сигналам точного времени, передаваемым радиостанциями Госу-

дарственной службы времени и частоты СССР. Точность привязки частот 5-10⁻¹¹, точность сведения шкал времени ± 100 мкс.

Электронно-счетные частотомеры со сменными блоками представляют собой новейшее высокопроизводительное радиоизмерительное оборудование, обладающее образцовой точностью и применяемое в метрологических органах, научных и промышленных центрах, в исследовательских и поверочных лабораториях, в цехах заводов. Частотомеры осуществляют программируемое измерение частоты радиосигналов от долей герца до 70 ГГц с погрешностью $\pm 5 \cdot 10^{-9}$ и интервалов времени от 1 мкс до 10⁴ с с погрешностью $\pm 0,1$ мкс. Они выдают результаты измерений в коде, обеспечивающем математические вычисления, статистическую обработку данных и регистрацию их в цифровой и аналоговой формах. Электронно-счетные частотомеры расширили круг применения частотно-временных измерений, повысили точность измерения многих прикладных физических и механических величин, в основе измерений которых лежат измерения

временных интервалов и частоты или преобразование их в частотно-временные характеристики радиосигналов. По сравнению с приборами 60-х годов третье поколение электронно-счетных частотомеров имеет в два раза больший диапазон измеряемых частот, их масса уменьшена в три раза, а надежность увеличена в пять раз. Например, электронно-счетный частотомер ЧЗ-39 совместно с преобразователем частоты Ч5-13 полностью заменяет четыре шкафа стандарта частоты «Авангард», находившегося в эксплуатации до начала 70-х годов, и на два порядка превосходит его по точности измерений.

Системы сбора данных, информационно-измерительные системы сделали возможным проведение многофункциональных автоматизированных измерений массивов частотных и других данных о параметрах радиосигналов и испытываемых объектах без участия оператора.

Новые лабораторные хранители времени и частоты позволяют обеспечить эталонные точности измерений на рабочих местах в лабораториях и цехах.

1.2. Классификация приборов для приема сигналов образцовых частот, сигналов точного времени и сличения частот

Приборы группы Ч7 предназначены для приема сигналов образцовых частот, сигналов точного времени, передаваемых радиостанциями Государственной службы времени и частоты СССР, и сравнения частот выходных сигналов рабочих эталонов и местных стандартов времени и частоты с Государственным эталоном времени и частоты СССР и между собой. Они широко применяются для синхронизации хода электронных часов в территориально разнесенных пунктах при навигационных, радиоастрономических, геодезических исследованиях, исследованиях условий распространения радиоволн и т. п. Благодаря высокой точности измерений, цифровой форме отсчета и возможности автома-

тической записи результатов измерений приборы для сличения частот — компараторы частоты и фазы используются для решения поверочных и метрологических задач по сравнению частот высокостабильных кварцевых и квантовомеханических стандартов частоты за интервалы времени от десятков микросекунд до нескольких лет и при исследованиях кратковременной и долговременной нестабильности частот радиосигналов.

Современные приемники-компараторы работают в диапазонах сверхдлинных (СДВ), длинных (ДВ) и коротких (КВ) радиоволн, имеют помехозащищенные входы, совместимы с частотно-измерительными приборами других групп, допускают агрегатиро-

вание в измерительные и испытательные системы и установки.

Единство временных и частотных измерений поддерживается Государственной службой времени и частоты СССР через передачи сигналов точного времени и образцовых частот радиостанциями КВ, ДВ и СДВ диапазонов. Это коротковолновые радиостанции с позывными РВМ, РАТ, РТА, РИД, РКМ, РЦХ и радиостанции ДВ диапазона РБУ, РВ-166. Частоты их передатчиков синхронизируются или поверяются по Государственному эталону времени и частоты СССР.

Приемники-компараторы являются важным звеном в системе «Государственный эталон времени и частоты СССР — потребитель». Они входят в комплект метрологического оборудования поверочных лабораторий и

центров научно-исследовательских институтов и промышленных предприятий. Наряду с приемом сигналов точного времени и образцовых частот они измеряют отклонения частот сигналов высокостабильных по частоте генераторов, кварцевых стандартов частоты, используются для определения расхождений сигналов времени и уклонений шкал времени, воспроизводимых рабочими хранителями времени.

Аппаратура приема и сравнения частот характеризуется погрешностью и разрешающей способностью сличения частот, чувствительностью и помехозащищенностью приемника при приеме сигналов, частотами, на которых производится сличение, максимальным расхождением значений сличаемых частот, полосой пропускания измерительных трактов.

Приемники сигналов точного времени

Приемники сигналов точного времени обеспечивают привязку рабочих хранителей шкал времени, сигналов времени, выдаваемых аппаратурой синтеза сигналов времени, электронных часов (синхрометров) к Государственной шкале времени СССР, и являются усилителями сигналов времени, транслируемых Государственной службой времени и частоты СССР по радиоканалу, на объектах потребителя.

сигналов прямоугольной формы с частотой следования 1 с, начала нарастания фронтов которых жестко связаны с фазой образцовых несущих частот, излучаемых радиостанциями в СДВ, ДВ и КВ диапазонах. Эти сигналы несут значения моментов времени в системе всемирного координированного времени TUC . Они содержат информацию о величине и знаке разности шкал времени $DTU1 = TUI - TUC$. Секундные импульсы, несущие информацию о минутах (каждый 59-й импульс), десятках минут (каждый 599-й импульс), часах (каждый 3599-й импульс) и датах, принятые приемником, усиленные и поданные на выход прибора, «окрашены» дополнительными импульсами.

Основными характеристиками приемников сигналов точного времени являются: время задержки сигналов и их нестабильность в приемном тракте, помехозащищенность приемника, каналы приема, стабильность частоты гетеродина.

Погрешность сведения шкал времени по сигналам СДВ диапазона не превышает ± 500 мкс, в КВ диапазоне ± 300 мкс. Погрешность сравнения ча-

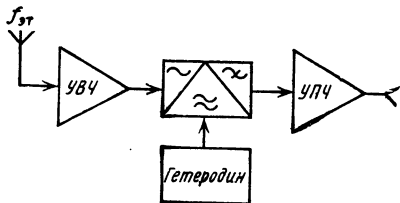


Рис. 1.1.

Приемник сигналов точного времени выполняется по супергетеродинной схеме (рис. 1.1).

Выходной сигнал представляет собой последовательность импульсных

стот по сигналам времени КВ диапазона не более 10^{-9} за 24 ч.

Все временные измерения по сведению шкал времени с помощью прием-

ки распространения выявляют возможные траектории распространения колебаний в данном месте приема, настраивают приемник на частоту сиг-

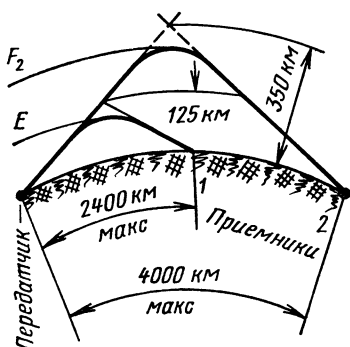


Рис. 1.2.

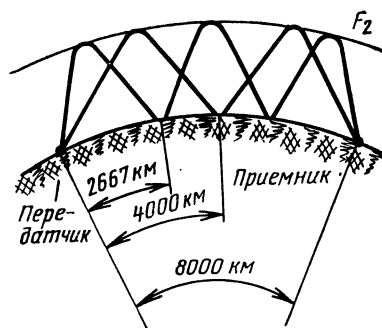


Рис. 1.3.

ников сигналов точного времени требуют знания и расчета условий распространения радиосигналов.

Радиосигналы, несущие информацию о времени, распространяются по траектории между ионосферой и землей и претерпевают определенные задержки. В зависимости от времени суток отражения могут происходить от слоя E или F_2 ионосферы или одновременно от обоих слоев (рис. 1.2).

Для точного определения длины траектории распространения кроме координат приемной и передающей станций необходимо знать среднюю высоту ионосферного слоя в момент сличения и количество отражений принимаемого сигнала. Максимальное расстояние, которое перекрывает радиосигнал с одним отражением от ионосферы (от слоя F_2), равно 4000 км. Однако возможно и большее число отражений (рис. 1.3). Сигналы, отраженные от слоя E , принимают только в дневное время, и их прием ограничен траекторией с одним отражением на расстоянии до 2400 км. В некоторых точках Земли возможен прием сигналов, отраженных и от других слоев ионосферы. Для устранения неоднозначности в определении задерж-

нала, обеспечивающую наиболее благоприятное отношение сигнал/шум, и выбирают сигналы, свободные от интерференции с колебаниями более вы-

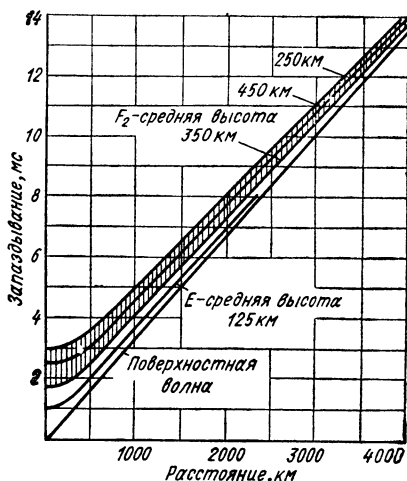


Рис. 1.4.

сокого порядка. При приеме нескольких сигналов, прошедших по разным траекториям, работают с сигналом,

имеющим самое раннее время прибытия. Для высокоточного определения задержки на трассе учитывают высоту ионосферы (слоя F_2 , меняющегося по высоте от 250 до 450 км). Графически задержку можно определить из номограммы (рис. 1.4). Затемненная область вдоль кривой слоя F_2 указывает возможные разбросы изменения высоты.

Флуктуации условий прохождения сигналов времени на траектории распространения приводят к хаотическим изменениям времени появления сигнала на выходе приемника и воспроизведения его на экране осциллографа. Поэтому точность сравнения частот и сличения шкал времени зависит также

от оператора и метода индикации. Хорошие результаты дает метод фотографического усреднения осциллограмм.

Флуктуации фазовой скорости радиоволн на трассе распространения сигналов точного времени не позволяют использовать принятые сигналы для точных измерений частоты за короткие промежутки времени. Чем больше величина случайных изменений фазы на трассе распространения радиоволн, тем больший интервал времени необходим для измерения. На погрешность сличения частот влияют также систематические изменения в атмосфере на трассе распространения при восходе и заходе солнца.

Приемники-компараторы

Принцип работы приемника-компаратора основан на определении изменений разности фаз двух сравниваемых сигналов за известный калиброванный интервал времени. Характеристики прибора определяются структурной схемой и выполнением ее отдельных элементов. Все приемники-компараторы состоят из двух основных узлов: приемного устройства и фазометрической (в ряде случаев — следящей) системы. В приемном устройстве радиосигнал образцовой частоты фильтруется от помех и усиливается. Фазометрическая система измеряет (следящая измеряет автоматически) разность фаз между принятым сигналом образцовой частоты и сигналом сличаемого стандарта (меры) частоты. В зависимости от методов приема сигналов и фазового детектирования различают несколько вариантов построения приемников-компараторов.

Приемник-компаратор с фазовым детектором (рис. 1.5). Его настраивают на частоту одной из радиостанций СДВ диапазона $f_{\text{эт}}$. Преобразователь изменяет частоту сигнала местного высокостабильного генератора f_x до частоты, равной $f_{\text{эт}}$ (если $f_{\text{эт}}=18$ кГц, а $f_x=1$ МГц, то используют деление на $n_1=500$ и умножение на $n_2=9$). Фаза сигнала с выхода преобразова-

теля сравнивается с фазой эталонной частоты на фазовом детекторе и разность между ними записывается само-

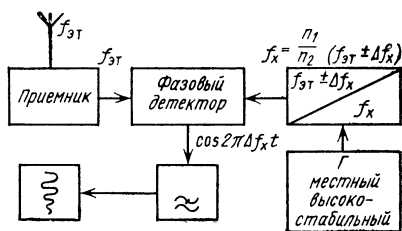


Рис. 1.5.

писцем. Отклонение частоты местного высокостабильного генератора от эталона определяется соотношением

$$\Delta f_x = k l n_2 / L_k n_1,$$

которое можно упростить, если число периодов в единицу времени k разделить на частоту сравнения $f_{\text{эт}}$ (l — скорость ленты самописца, L_k — длина записи k периодов). Например, при $f_{\text{эт}}=50$ кГц и единице времени, равной 1 ч, относительное отклонение частоты $1 \cdot 10^{-9}$ эквивалентно 0,18 периода в 1 ч. Тогда

$$\Delta t_x = 5,55 (kl / L_k) \cdot 10^{-9}.$$

Работа на высоких $f_{\text{эт}}$ позволяет сократить время измерения. Приемник-компаратор с фазовым детектором позволяет получить очень узкую полосу пропускания системы и высокое отношение сигнал/шум на выходе. Неопределенность знака отклонения частоты и большое время измерения являются недостатками данной схемы прибора.

Приемник-компаратор с компенсацией (рис. 1.6). Приемная часть пред-

Измерение отклонений частот основано на измерении интервала времени, за который разность фаз изменится на 2π . Интервал времени можно определить с небольшой погрешностью, если линия записи напряжения разностной частоты на самописце не имеет искажений. На практике линия размыта из-за флуктуаций фазы сигнала и помех (рис. 1.7). Это приводит к некоторой ошибке σ_φ в определении положения нулевой фазы и, следовательно

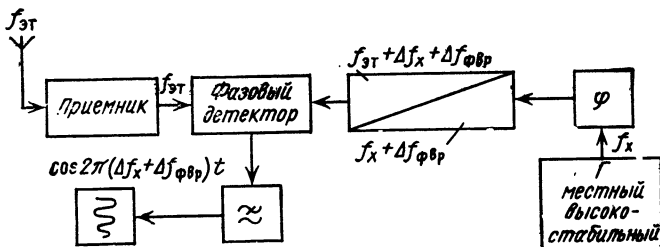


Рис. 1.6.

ставляет собой схему прямого усиления. В фазометрической системе используется фазовращатель, который, вращаясь с постоянной скоростью, задает частоту компенсации. Фазовращатель изменяет частоту сигнала генератора на $\Delta f_{\text{фвр}}$. Сигнал с разностной частотой на выходе фазового детектора имеет период биений, равный $T = 1/(\Delta f_x + \Delta f_{\text{фвр}})$, тогда

$$\Delta f_x = kl/L_k - \Delta f_{\text{фвр}}.$$

но, к погрешности в сравнении частот. Относительная погрешность определения Δf_x при измерении k периодов определяется соотношением $\delta_{\Delta f_x} = 2\sigma_\varphi / kL_1$, где $\sigma_\varphi = bL_1$. Погрешность сравнения частот $\sigma_f = 2b/kf_x$, где b — постоянная, зависящая от уровня помех, флуктуаций фазы, сличаемого сигнала и периода биений.

Погрешность обратно пропорциональна числу периодов, используемых

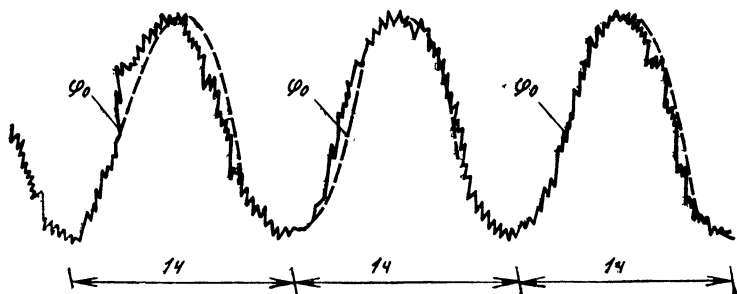


Рис. 1.7.

при измерениях, и не зависит от частоты компенсации $\Delta f_{\text{вр}}$.

Приемник-компаратор с синхронизируемым кварцевым генератором (рис. 1.8). Система фазовой автоподстройки частоты кварцевого генератора является узкополосным фильтром. Такой прибор обеспечивает прием, как правило, одной эталонной частоты. Выходной сигнал приемника-компаратора представляет собой последовательность импульсов со скачко-

усиленным приемником. Сигнал ошибки с фазового детектора усиливается сервоусилителем и поступает на электродвигатель, который через редуктор вращает фазовращатель до получения минимального сигнала ошибки. Если сигнал местного генератора имеет небольшое постоянное смещение частоты относительно эталона (принятого сигнала), то фазовращатель вращается с постоянной скоростью, пропорциональной этому смещению. При срав-

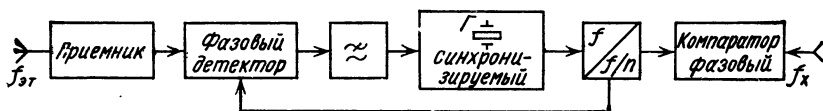


Рис. 1.8.

стью, пропорциональной разности фаз сигнала эталонной частоты $f_{\text{эт}}$ и сигнала f_x . Изменение разности фаз приводит к изменению скажности, регистрируемому стрелочным прибором или на ленте самописца. Отклонение частот определяется по изменению разности фаз $\Delta\varphi$ за время измерения Δt :

$$\Delta f_x = \Delta\varphi / 2\pi\Delta t.$$

Приемник-компаратор со следящей системой (рис. 1.9). Сигнал местного генератора сравнивается в фазовом детекторе с сигналом, принятым и

нении частот высокостабильных генераторов скорость вращения очень мала и для ее определения угловое смещение фазовращателя за некоторый известный интервал времени измеряется счетчиком и записывается на самописце в виде функции времени. Счетчик калибруется в микросекундах. При работе фазовращателя на частоте 100 кГц один его оборот соответствует разности фаз в 10 мкс. Изменение показания счетчика на Δl за время τ соответствует отклонению частоты местного генератора от эталона

$$(\Delta f/f)_x = \Delta l/\tau.$$

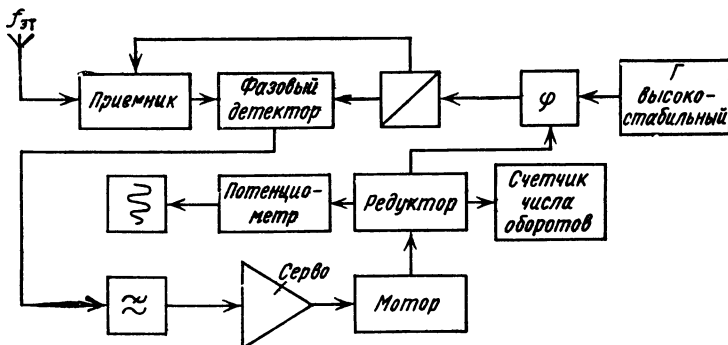


Рис. 1.9.

При разомкнутом кольце обратной связи схема рис. 1.9 аналогична схемам рис. 1.5 и 1.6. Отклонение частоты местного генератора от эталонной в этом случае определяется соотношением

$$(\Delta f/f)_x = \gamma k / \tau,$$

где $\gamma = 1/f_{\text{эт}}$ — коэффициент, который зависит от номинального значения эталонной частоты $f_{\text{эт}}$ и частоты, на которой работает фазовый детектор $f_{\text{фд}}$ (табл. 1.1). Погрешность изме-

Таблица 1.1

$f_{\text{эт}}, \text{кГц}$	$\gamma, 10^{-5}$
100	1
25	4
18,6	5,4
16	6,2
1	100

Примечание. Всем частотам $f_{\text{эт}}$ соответствует $f_{\text{фд}} = 1 \text{ кГц}$.

рения зависит от интервала времени, на котором измеряется разность частот (рис. 1.10).

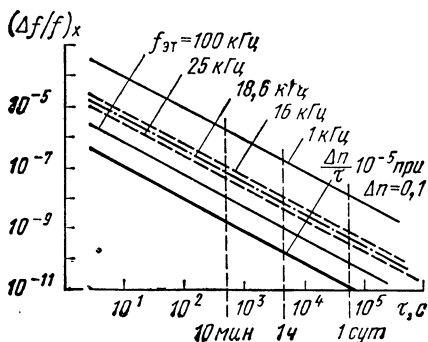


Рис. 1.10.

При замкнутом кольце обратной связи разность частот определяется разностью показаний счетчика числа

оборотов фазовращателя $m_2 - m_1$ за интервал времени τ :

$$(\Delta f/f)_x = (m_2 - m_1) / f_{\text{фвр}} \tau,$$

где m_1 и m_2 — показания счетчика в единицах времени в моменты времени t_1 (начало измерения) и t_2 (конец измерения), $\tau = t_2 - t_1$ — интервал времени измерения.

Разрешающая способность измерения разности частот связана с минимальным значением угла поворота $\Delta m = m_2 - m_1$, который может быть отсчитан по счетчику. Знак отклонения частоты f_x от эталонной определяется направлением вращения фазовращателя. Если частота местного генератора выше эталонной, то фазовращатель уменьшает частоту сигнала, если ниже — увеличивает. При соответствующем включении счетчика в первом случае его показания будут возрастать и разность будет положительной, во втором случае — резульат обратный. Запись набега фазы на ленте самописца содержит информацию о знаке отклонения частоты: при положительном наклоне линии записи к оси времени частота сигнала генератора превышает эталонную и наоборот.

Время вхождения системы в режим синхронизации

$$\tau_{\text{уст}} = 2\pi |\omega_x - \omega_{\text{эт}}|^2 / P_{\text{ш}}^3$$

составляет 10—1000 с. Большая постоянная времени переходных процессов в системе влияет на качество коррекции флуктуаций (скачков) фазы, которые возникают из-за неравномерности вращения мотора, редуктора и фазовращателя, изменений условий распространения $f_{\text{эт}}$ по трассе, флуктуаций частоты f_x .

Погрешность сравнения частот зависит от таких факторов, как:

- изменение коэффициента передачи кольца регулирования (оно вызывается изменениями уровня выходного сигнала приемника, дрейфом коэффициента усиления УПЧ, неравномерностью вращения вала мотора);

- разрешающая способность счетчика числа оборотов фазовращателя и погрешность отсчета по нему;

1.2. Классификация приборов для сличения частот

— изменение фазовых отношений в тракте приемника за время сравнения частот;

— нелинейность характеристики фазовращателя;

— нестабильность частоты сигнала, возникающая в тракте преобразования частоты сигнала местного генератора.

Изменение модуля коэффициента передачи системы $\Delta\mu$ приводит к изменению разности фаз $\Delta\varphi = \Delta\omega_x \Delta\mu / \Delta\omega_{уд}$ между сигналами местного генератора и эталонной частоты, которое за время сравнения τ приводит к относительному значению погрешности

$$\delta_\mu = \Delta\omega_x \Delta\mu / \Delta\omega_{уд}^2 \omega_{фвр} \tau.$$

При использовании цифрового счетчика числа оборотов с ценой деления в 0,1 оборота фазовращателя разрешающая способность отсчета и погрешность равны 0,03 оборота. Погрешность сравнения $\delta_{\Delta m}$ за счет не точности Δm

$$\delta_{\Delta m} = \Delta m / f_{фвр} \tau.$$

Погрешность, обусловленная изменением фазы в приемном тракте прием-

ника $\Delta\varphi_{пр}$, рассчитывается по формуле

$$\delta_{пр} = 2,8 \cdot 10^{-3} \Delta\varphi_{пр} / \tau f_{фвр}.$$

Влияние нелинейности характеристики фазовращателя $\Delta\varphi_{фвр}$ определяется как

$$\delta_{фвр} = 2,8 \cdot 10^{-3} \Delta\varphi_{фвр} / f_{фвр} \tau.$$

Нестабильность частоты, вносимая трактом преобразования, приводит к неучтенному изменению фазы $\Delta\varphi_{пч}$ и к погрешности

$$\delta_{пч} = 2,8 \cdot 10^{-3} \Delta\varphi_{пч} / \mu \tau f_{фвр}.$$

В табл. 1.2 приведены оценки всех составляющих и среднеквадратичное значение общей погрешности.

На погрешность сравнения частот влияет отношение сигнал/шум на входе приемника, полоса пропускания приемника и эквивалентная полоса шумов следящей системы. Шум приводит к флуктуациям разности фаз и может вызвать скачки фазы в системе на 2π , вследствие чего среднее значение частоты сигнала местного генератора не совпадает с эталонной. От соотношения мощности сигнала P_c

Т а б л и ц а 1.2

Составляющие общей погрешности	Погрешность сравнения, 10^{-12} , при частоте фазовращателя 100 кГц		
	за 1 ч ($3,6 \cdot 10^3$ с)	за 5 ч ($1,8 \cdot 10^4$ с)	за 24 ч ($8,64 \cdot 10^4$ с)
Изменение коэффициента передачи $\Delta\mu/\mu = 0,01$ при $\mu \approx 10^4$, $\Delta\omega_x \sim 10^{-5}$	2,8	0,6	0,1
Погрешность отсчета $\Delta m = \pm 0,03$ оборота	80	16	3,5
Изменение фазы сигнала в приемном тракте $\Delta\varphi_{пр} = \pm 23^\circ$	180	36	6
Нелинейность характеристики фазовращателя $\Delta\varphi_{фвр} = \pm 2^\circ$	16	3,1	0,5
Изменение фазы сигнала в тракте преобразования частоты $\Delta\varphi_{пч} = \pm 20^\circ$	430	17	0,7
Среднеквадратическое значение суммарной погрешности	47	38	7
$\delta = \sqrt{\delta_\mu^2 + \delta_{\Delta m}^2 + \delta_{пр}^2 + \delta_{фвр}^2 + \delta_{пч}^2}$			

и мощности шума $P_{\text{ш}}$, измеренной в эквивалентной шумовой полосе следящей системы, зависит вероятность фазовых ошибок в системе. Если пренебречь инерционностью фильтра системы, то распределение фазовой ошибки $p\{\theta\}$ для $|\theta| \leq \pi$ имеет вид

$$p\{\theta\} = \frac{\exp[(P_c/P_{\text{ш}}) \cos \theta]}{2\pi I_0 P_c/P_{\text{ш}}}$$

при $P_c/P_{\text{ш}} > 0$.

$$p\{\theta\} = \frac{\exp(-\theta^2 P_c/2P_{\text{ш}})}{\sqrt{2\pi} P_{\text{ш}}/P_c}$$

при $10 \lg \frac{P_c}{P_{\text{ш}}} > 9 \text{ дБ}$.

При $(P_c/P_{\text{ш}}) < 0$ распределение фазовой ошибки стремится стать равномерным, а ее производной — гауссовым, т. е. в системе будет отсутствовать режим синхронизации.

грешности, обусловленной шумом, меньшей $1 \cdot 10^{-11}$, среднее время от одного скачка фазы до другого должно быть не менее 10—15 суток ($8,64 \times 10^5$ — $1,3 \cdot 10^6$ с). Это выполняется только при отношении $10 \lg(P_c/P_{\text{ш}}) \geq 16$ —18 дБ. При меньшем отношении погрешность сравнения существенно увеличится. Так, например, при $10 \lg(P_c/P_{\text{ш}}) = 6$ дБ она составит $5 \cdot 10^{-8}$ за 1 ч, 10^{-8} за 5 ч и $2 \cdot 10^{-9}$ за сутки.

Отношение $P_c/P_{\text{ш}}$ можно увеличить, уменьшив полосу пропускания ФАПЧ. Ее нельзя выбирать меньшей 0,0001 Гц, так как при этом система не будет корректировать смещение частоты в пределах часа. Если полоса пропускания следящей системы равна 0,01 Гц, УПЧ 20 Гц и предварительного усилителя 100 Гц, то система обеспечивает сличение частот с погрешностью 10^{-11} при соотношениях $10 \lg(P_c/P_{\text{ш}}) \leq -22$ дБ на входе при-

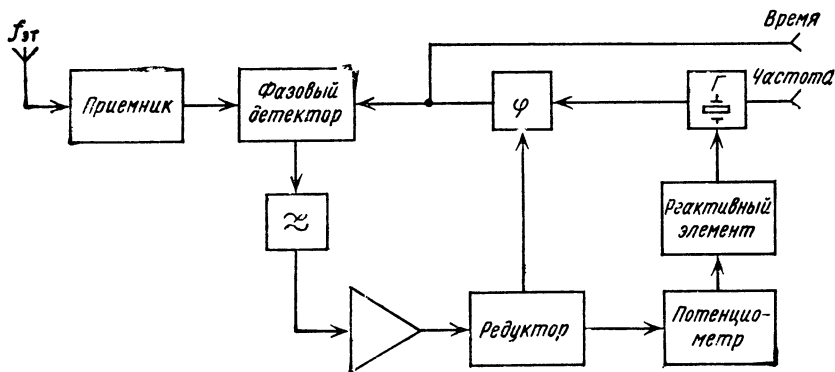


Рис. 1.11

Шумы не изменяют погрешности сравнения частот местного генератора и эталона, если за время сравнения в системе отсутствовали скачки фазы на 2π . Это возможно, если отклонения фазы из-за шумов будут меньше $\pi/2$ и вероятность появления отклонения разности фаз на $\pi/2$ будет равна нулю. Так как частоты сравниваются в течение длительного времени (например, сутки), то для величины по-

емника, при полосе 0,002 Гц $10 \lg(P_c/P_{\text{ш}}) \leq -32$ дБ.

Регистрация величины угла поворота фазовращателя системы сличения на ленте самописца позволяет при анализе результатов сравнения частот учесть и исключить скачки фазы. Такая форма регистрации позволяет проанализировать потерю информации из-за перерывов в работе радиостанций эталонных частот.

Приемник-компаратор с двумя кольцами регулирования (рис. 1.11). Сигнал радиостанции, усиленный в супергетеродинном приемнике, сравнивается по фазе в фазовом детекторе с сигналом кварцевого генератора, прошедшим через фазовращатель. Управление фазой сигнала кварцевого генератора осуществляется следящей системой, которая состоит из двух колец регулирования. Усиленный сигнал ошибки с фазового детектора управляет вращением электродвигателя. Фазовращатель приводит разность фаз к нулю. Сигнал управления частотой кварцевого генератора, снимаемый с линейного потенциометра, уменьшает разность частот сигналов, поступающих на фазовый детектор. Следящая система подстраивает частоту генератора за счет вращения фазовращателя и смещения частоты генератора с помощью реактивного элемента.

Такой прибор не только измеряет расхождение частот, но и автоматически подстраивает частоту контролируемого генератора. При разности частот $\Delta f_x = \text{const}$ смещение частоты сравниваемого и синхронизируемого высокостабильного генератора относительно эталонной и разность фаз между сравниваемыми сигналами полностью отсутствуют. При равномерном изменении разности частот ($\Delta f_x = v_x t$) разность фаз на фазовом детекторе постоянна и равна $\varphi_0 = 2\pi v_x / \mu_2$ (μ_2 — крутизна характеристики синхронизируемого генератора). При перерыве в работе радиостанции система с двойным регулированием не реагирует на пропадание сигнала эталонной частоты и генератор сохраняет значение частоты, которое было до перерыва в работе радиостанции. Длительность переходных процессов в такой системе 1,5—2 ч, погрешность сведения частот $\pm 5 \cdot 10^{-10}$ и менее.

Компараторы частоты и фазы

Компараторы частоты и фазы производят измерение разности частот и фаз двух сигналов от местных высокостабильных по частоте источников. В зависимости от требуемой точности сравнения и разрешающей способности измерений компараторы выполняются по определенной структурной схеме, основными устройствами которой являются умножители частоты и смеситель или фазовый детектор с индикатором (измерителем) на выходе (самописец, осциллограф, электронно-счетный частотомер, измеритель интервалов времени, фазометр, анализатор спектра и др.). Принцип работы компаратора частоты основан на умножении частот входных сигналов

считать идеальными, то их выходные сигналы будут равны

$$u_{\text{вх}1}(t) = U_{\text{вх}1} \cos [n\omega_0 t + n\varphi_1(t)],$$

$$u_{\text{вх}2}(t) = U_{\text{вх}2} \cos [n\omega_0 t + n\varphi_2(t)].$$

Тогда сигнал на выходе смесителя

$$\begin{aligned} u_{\text{см}}(t) &= U_{\text{вх}} \cos n [\varphi_1(t) - \varphi_2(t)] = \\ &= U_{\text{вх}} \cos n \Delta \varphi(t) \end{aligned}$$

имеет флуктуации фазы, равные разности флуктуаций фаз сравниваемых сигналов, умноженной в n раз. Коэффициент умножения частот определяет разрешающую способность компаратора. По характеру осуществления умножения компараторы подразделяются на два типа.

Компаратор с прямым умножением частот (рис. 1.12) имеет два независимых канала умножения частоты, состоящих из нескольких ступеней. Рабочая частота последующей ступени выше, чем предыдущей, поэтому каждая ступень имеет свою конструкцию.

$$u_1(t) = U_1 \cos [\omega_0 t + \varphi_1(t)],$$

$$u_2(t) = U_2 \cos [\omega_0 t + \varphi_2(t)].$$

Если умножители, которые устраняют всю амплитудную модуляцию и умножают только частоту и фазу в n раз,

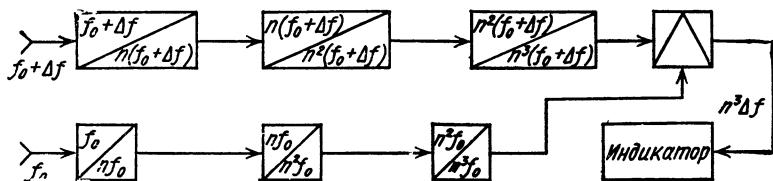


Рис. 1.12.

Выходные сигналы каждой ступени подаются на смеситель, соединенный с индикаторным устройством. При сравнении частот высокостабильных источников колебаний (таких как квантово-механические стандарты частоты) разностная частота может быть незначительной (порядка 0,1—2 Гц). В этом случае при измерениях предпочтительнее использовать компаратор с декадным умножением или применять при прямом умножении разные коэффициенты умножения n и $(n+1)$ с тем, чтобы частота выходного сигнала была $f_0 \pm n\Delta f$.

Компаратор с декадным умножением частот (рис. 1.13) также имеет два

канала умножения с несколькими ступенями (декадами), в которых частоты опорного f_0 и исследуемого $f_0 \pm \Delta f$ сигналов умножаются соответственно в $(n-1)$ и n раз и затем смешиваются. Частота колебаний выходного сигнала первого смесителя равна $n_1(f_0 \pm \Delta f) - (n-1)f_0 = f_0 \pm n_1\Delta f$, а i -го смесителя $f_0 \pm n_i\Delta f$.

Преимущества системы декадного умножения заключаются в том, что здесь декады идентичны, компаратор более экономичен, имеет меньшую массу и значительно меньшую стоимость при сравнительно низких рабочих частотах (в основном от 0,1 до 10 МГц); равенство частот выходных

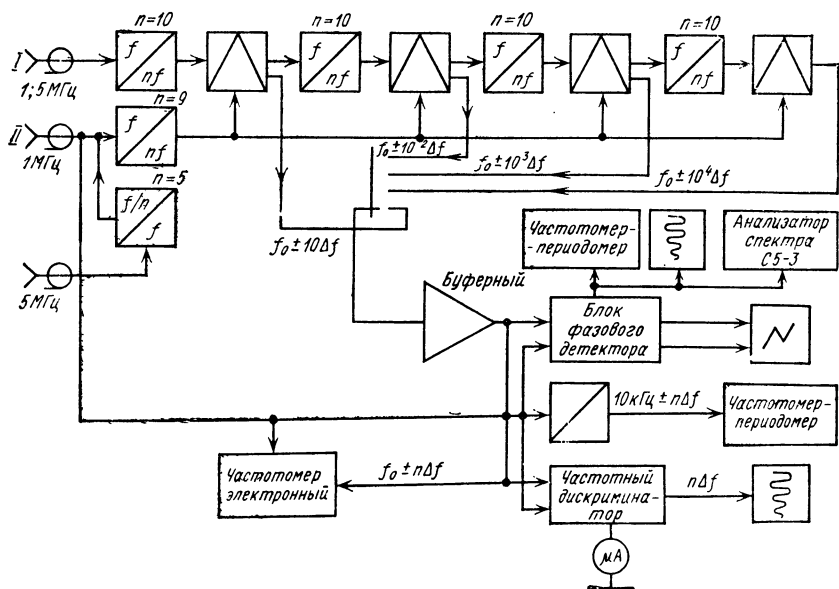


Рис. 1.13.

сигналов декад позволяет применять один и тот же индикатор для различных коэффициентов умножения; ширина полосы шумов во всех декадах одинакова, тогда как при прямом умножении она увеличивается с ростом коэффициентов умножения. При измерении долговременной нестабильности частоты сигналов, имеющих сравнительно высокий уровень шумов, в тракт умножения частоты можно включить дополнительные узкополосные кварцевые фильтры для уменьшения этих шумов.

Декадное умножение уступает прямому только в возможности измерений при больших разностях частот входных сигналов. При прямом умножении максимальная разность частот входных сигналов определяется полосой пропускания первых каскадов умножителей частоты, при декадном умножении она уменьшается от декады к декаде в n раз. Погрешность компаратора обусловлена нестабильностью фазы, которая возникает при прохождении сличаемых сигналов через умножители частоты и смесители. Кроме того, эта характеристика прибора зависит от интенсивности в спектре сигналов, поступающих на смесители, составляющих с частотами, кратными входной частоте, так как указанные составляющие вызывают паразитную фазовую модуляцию (ПФМ) сигнала на выходе смесителя.

Допустимая величина ПФМ определяется заданной погрешностью изме-

рений и максимальными разностями входных частот. Зная ПФМ и заданную погрешность измерений, можно вычислить допустимую разность входных частот. Для того чтобы ПФМ не приводила к дополнительной погрешности измерений, суммарная девиация фазы и эквивалентная ей девиация частоты на выходе последней декады должны быть в три раза меньше абсолютной величины погрешности компаратора, умноженной на коэффициент умножения разности входных частот в компараторе, т. е. должно выполняться условие

$$\Delta f_{\text{дев}} \leq 0,3n_k \delta_f,$$

где $\Delta f_{\text{дев}}$ — величина паразитной девиации частоты сигнала; n_k — коэффициент, определяемый числом используемых умножителей (1×10) ($n_k = 1, 2, 3, 4$); δ_f — погрешность компаратора, обусловленная его схемой.

Погрешность компараторов за 1 с при сличении стандартов частоты, у которых отношение сигнал/шум не менее 100—120 дБ, составляет 10^{-12} — 10^{-13} .

Погрешность измерения разности частот компаратором при исследовании генераторов с неравными частотами будет минимальной, если величина боковых составляющих спектра выходного сигнала компаратора, связанных с ПФМ, будет меньше спектральной плотности шумов сигнала на соответствующих частотах.

1.3. Приборы для приема сигналов образцовых частот, сигналов точного времени и сличения частот

Группа приборов приема сигналов точного времени: приемники-компараторы и компараторы фазы и частоты — состоит из 7 самостоятельных радионизмерительных приборов, предназначенных для автономного применения и встраивания в установки и системы для прецизионных временных и частотных измерений. Она используется для достижения эталонных точностей при частотно-временных измерениях на объектах промышленных и

научных центров, для аттестации высокостабильных по частоте источников сигналов, квантовомеханических стандартов частоты, при периодических поверках рабочих шкал времени и действительных значений частот рабочих стандартов.

Прием сигналов точного времени и образцовых частот производится более чем по 200 каналам. Погрешность сравнения частот за 24 ч менее $5 \cdot 10^{-11}$, сведения шкал времени ± 500 мкс.

Погрешность определения отклонений частот в КВ диапазоне по сигналам времени 10^{-9} за 24 ч, сведения часовых систем ± 300 мкс.

Разрешающая способность измерений отклонений частот, обеспечиваемая компараторами частоты при временах усреднения 1 с, не менее $1 \cdot 10^{-12}$.

Приборы этой группы выполнены с учетом их совместной работы с аппаратурой синтеза сигналов времени, квантовомеханическими и кварцевыми стандартами частоты, электронно-счетными частотомерами, самописцами. Они имеют согласованные нагрузки и уровни входных и выходных сигналов, а также унифицированные соединительные элементы.

Приемник-компаратор Ч7-9

Прибор (рис. 1.14) предназначен для определения отклонений частоты кварцевых и квантовомеханических стандартов от эталонных частот сигналов, передаваемых радиостанциями в диапазоне СДВ.

Частоты сигналов местного сличаемого источника 100 кГц, с делителем Ч6-63 1 и 5 МГц

Уровень входных сличаемых сигналов 0,5—1,5 В

Входное сопротивление 1 кОм

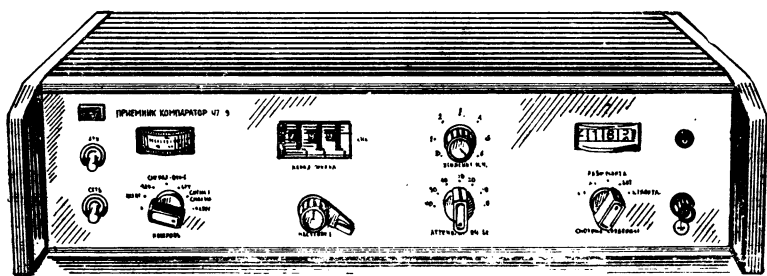


Рис. 1.14.

Применяется для синхронизации хода часовых систем, исследования изменений фазы радиосигналов на трассе распространения радиоволн и для синхронизации частот рабочих эталонов с частотой Государственного эталона времени и частоты СССР.

Основные технические характеристики

Диапазон частот принимаемых сигналов 10—29,9 кГц с дискретностью 0,1 кГц

Число каналов 199

Чувствительность 1 мкВ

Входное сопротивление приемного тракта 50 Ом

Погрешность сличения частот при отклонениях 10^{-7} и менее $\pm 5 \cdot 10^{-11}$ за время измерения 24 ч; $\pm 1 \cdot 10^{-9}$ за 1 ч.

Напряжение выходного сигнала частотой 100 кГц, синхронизированного с эталонной частотой, не менее 3 В

Выходное сопротивление 1 кОм

Выходное напряжение, пропорциональное разности фаз сличаемых сигналов 0—13 В

Выходное сопротивление канала 5 кОм

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В, $127 \pm 12,7$ В; частотой $400 \pm \frac{28}{12}$ Гц, напряжением $220(115) \text{ В} \pm 5\%$; частотой 60 ± 6 Гц, напряжением $115 \pm \frac{10}{15}$ В, а также от источни-

ка постоянного тока напряжением -27 ± 3 В

Потребляемая мощность 50 ВА

Габаритные размеры

$490 \times 135 \times 475$ мм

Масса 24 кг

Условия эксплуатации: температура от -5 до $+50^\circ\text{C}$, относительная влажность до 98% при $+40^\circ\text{C}$.

Прибор (рис. 1.15) имеет три основных узла: приемник, синтезатор частоты и следящую систему.

($f_{\text{вх}} \pm 0,1$ кГц) определяется второй промежуточной частотой (2 кГц) и составляет не менее 10 дБ для всех 199 каналов. Полоса пропускания приемника при сравнении частот $1 \pm 0,2$ кГц на первой $f_{\text{пр}}$ и 50 ± 10 Гц на второй $f_{\text{пр}}$. Общий коэффициент усиления приемника 10^7 . Автоматическая регулировка усиления позволяет уменьшить в 1000 раз изменение уровня принимаемого сигнала в пределах 40 дБ.

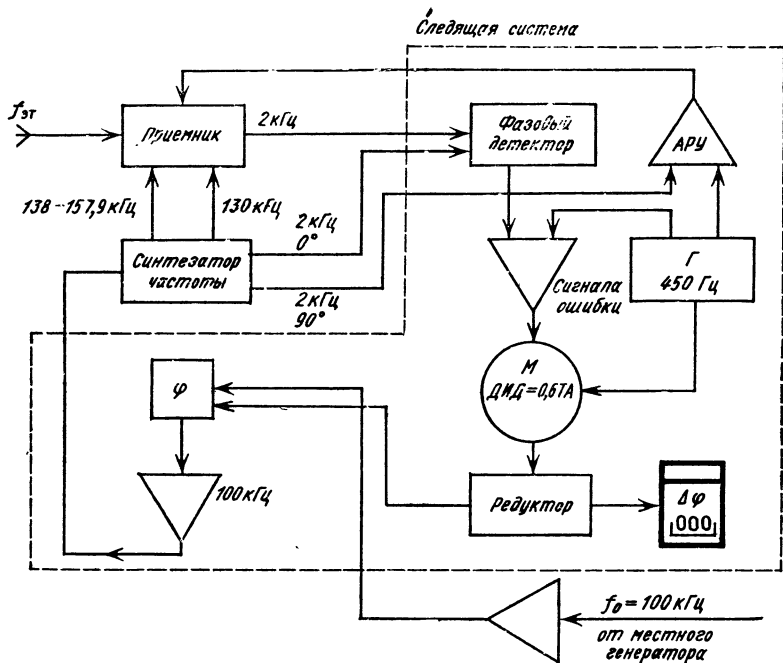


Рис. 1.15.

Приемник супергетеродинного типа выполнен по схеме с двойным преобразованием частоты, что позволяет получить высокую чувствительность и высокую избирательность по соседнему и зеркальному каналам при применении перестраиваемых фильтров в преселекторе. Для получения ослабления по зеркальному каналу -90 дБ первая промежуточная частота выбрана равной 128 кГц. Избирательность по соседнему каналу

Синтезатор-гетеродин приемника формирует сигналы с частотами 138,0—157,9 кГц через 0,1 и 130 кГц. Нестабильность частоты сигнала гетеродина при разомкнутой следящей системе равна неустойчивости частоты сигнала местного сравнимого стандарта. При замкнутой следящей системе сигнал гетеродина синхронизирован с сигналом принимаемой эталонной частоты. Применение в качестве гетеродина синтезатора частот

обеспечивает быструю и точную настройку приемника на любую из 199 несущих частот.

В приборе используется следящая система электромеханического типа с механическим емкостным фазовращателем и электродвигателем ДИД-0,5ТА. Она имеет следующие характеристики: полоса синхронизации 0,01 Гц, постоянная времени фильтра нижних частот 40 с, «мертвая» зона сервосистемы менее 0,1 мкс. Следящая система начинает работать при относительных разностях частот 10^{-7} .

Выходной сигнал приемника поступает на фазовый детектор, где происходит сравнение частоты местного исследуемого источника с эталонной. Сигнал ошибки с фазового детектора усиливается сервоусилителем и поступает на электродвигатель, который через редуктор вращает фазовращатель до получения минимального сигнала ошибки. Если сигнал местного источника имеет небольшое постоянное смещение частоты относительно эталона (принятого сигнала), то фазовращатель вращается с постоянной скоростью, пропорциональной этому смещению. При сравнении частот высокостабильных стандартов и генераторов скорость вращения очень мала, поэтому угловое смещение фазовращателя измеряется счетчиком и записывается на самописце. Счетчик откалиброван в микросекундах, его разрешающая способность $\pm 0,1$ мкс. Знак отклонения частоты от эталонной обусловлен направлением вращения фазовращателя. Отклонение частоты определяется по формуле

$$\Delta f/f_0 = (m_2 - m_1) 10^{-6} / \tau.$$

Результат измерения отклонения частоты не зависит от частоты, принимаемой прибором.

Прибор работает с рамочной антенной, входящей в его комплект, а также с другими антеннами: Г-образной и штыревой, применяемыми в

СДВ диапазоне и имеющими $R_{\text{вых}} = 50$ Ом. Удаление антенны от прибора 10—100 м.

Он имеет специальные узкополосный (1 кГц) и широкополосный (50 Гц) выходы для принимаемых прибором сигналов точного времени, которые при привязке шкал времени подаются на осциллограф. Точность сведения шкал времени ± 500 мкс.

При исследовании процессов и условий распространения радиоволн прибор применяется совместно с высокостабильным стандартом частоты, обычно Ч1-50.

Конструктивно прибор состоит из отдельных блоков. Приемник выполнен в виде небольших печатных плат, размещенных в отдельных отсеках литого корпуса; расположение плат обеспечивает последовательное прохождение сигнала, платы соединяются высокочастотными разъемами. Все три частотные декады синтезатора выполнены в виде отдельных экранированных узлов, собранных на литом шасси, внутри которого смонтирован блок опорных частот и размещен активный выходной фильтр. Платы следящей системы установлены на шасси без экранировки. Редуктор сервосистемы с коэффициентом редукции 1 : 5000 выполнен на цилиндрических шестернях, две из которых изготовлены из фторопласта для снижения трения и шума.

Приемник-компаратор по техническим характеристикам в СДВ диапазоне заменяет прибор для сличения частот Ч7-29А, который сравнивает частоты 0,1; 1; 2; 5 и 10 МГц местного высокостабильного источника с образцовыми частотами сигналов, передаваемых радиостанциями. Погрешность сличения частот $3 \cdot 10^{-9}$ за 1 ч, $5 \cdot 10^{-11}$ за сутки. Максимально допустимое отклонение номиналов частот, при котором прибор обеспечивает сличение, $\pm 5 \cdot 10^{-6}$. Чувствительность приемника 1 мкВ.

Приемник-компаратор Ч7-10

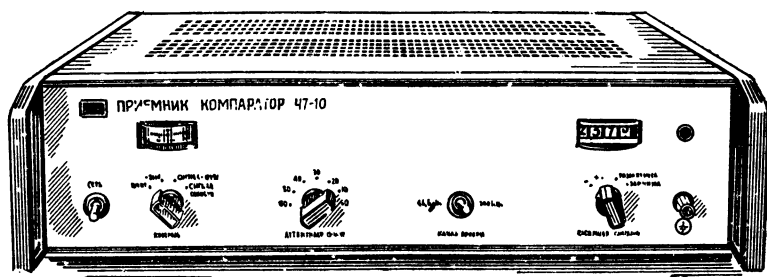


Рис. 1.16

Назначение и применение прибора такое же, как и приемника-компаратора Ч7-9. Приемник-компаратор Ч7-10 (рис. 1.16) работает в диапазоне длинных волн (ДВ).

Основные технические характеристики

Значения эталонных частот принимаемых сигналов 66,6 (6) кГц и 200 кГц

Чувствительность 1 мкВ

Входное сопротивление приемного тракта 50 Ом

Частоты местного сличаемого источника 100 кГц, с делителем частоты 46-63 1 и 5 МГц

Уровень входных сличаемых сигналов 0,5—1,5 В

Сопротивление канала входных сличаемых сигналов 1 кОм

Погрешность сличения частот при отклонениях 10^{-7} и менее $\pm 5 \cdot 10^{-11}$ за время измерения 24 ч и $\pm 1 \cdot 10^{-9}$ за 1 ч

Частота выходного сигнала, синхронизированного с эталонной частотой, 100 кГц

Напряжение выходного сигнала не менее 3 В

Выходное сопротивление канала 1 кОм

Выходное напряжение, пропорциональное разности фаз сличаемых сигналов, 0—13 В

Выходное сопротивление канала 5 кОм

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В, частотой $400 \pm 1 \frac{1}{2}$ Гц, напряжением $220(115) \text{ В} \pm 5\%$, а также от источника постоянного тока напряжением -27 ± 3 В

Потребляемая мощность 30 ВА (сеть переменного тока), 18 Вт (сеть постоянного тока)

Условия эксплуатации: температура от -5 до $+50^\circ\text{C}$, относительная влажность до 98% при $+40^\circ\text{C}$

Габаритные размеры

$490 \times 135 \times 475$ мм

Масса 22 кг

Принцип построения и действия прибора (рис. 1.17) такой же, как и приемника-компаратора Ч7-9. Он состоит из тех же трех основных узлов: приемника, синтезатора частоты и следящей системы.

Приемник выполнен по схеме прямого усиления и настроен на частоту 66,6(6) кГц. При работе с сигналом радиостанции 200 кГц в блоке синтезатора частоты происходит преобразование сигнала 200 кГц в сигнал $f_{\text{пр}} = 66,6(6)$ кГц, который поступает на вход приемника. Для селекции радиосигналов точного времени приемник имеет два LC-фильтра с полосами пропускания $5 \pm 0,5$ кГц (широкополосный выход) и 600 ± 50 Гц (узкополосный выход). Избирательность приемника по соседнему каналу $f_{\text{пр}} \pm 2$ кГц не менее 25 дБ. При приеме сигнала 200 кГц сигнал радио-

станции 66,6(6) кГц подавляется более чем на 20 дБ.

Следящая система электромеханического типа автоматически производит сравнение фазы сигнала местного сличаемого источника с фазой принятого эталонного радиосигнала и

При синхронизации частот стандартов, хода электронных часовых систем, шкал времени на основании полученных данных производится коррекция частоты синхронизируемого местного стандарта или задающего генератора. Введение коррекции мо-

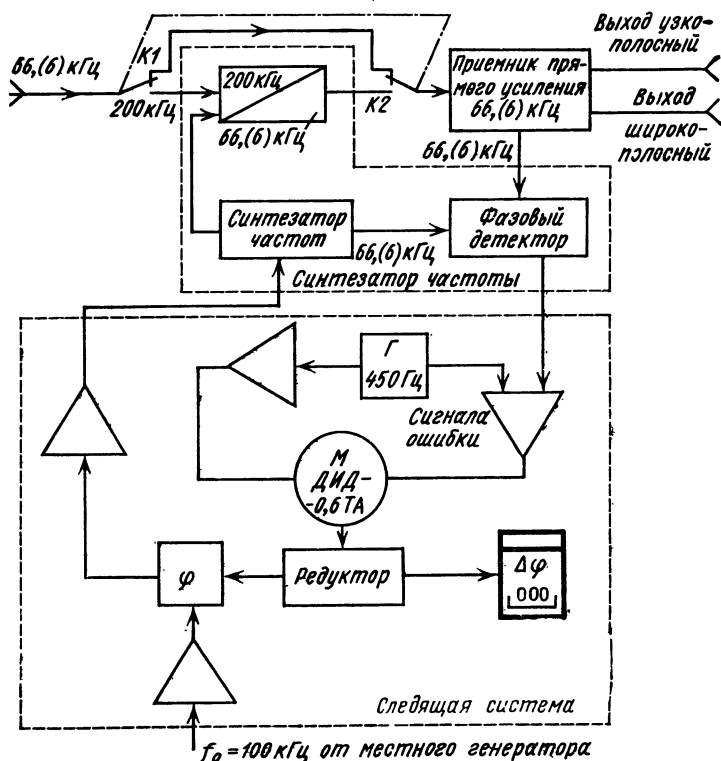


Рис. 1.17.

дает информацию об изменениях разности фаз в цифровой (механический счетчик с разрешением в 0,1 мкс) и аналоговой (самописец) формах. Максимальное расхождение частот, при котором следящая система обеспечивает отслеживание разности фаз, 10^{-7} . Относительное отклонение частот определяется, как и в приборе Ч7-9. Значения m_1 и m_2 считываются со счетчика или берутся с ленты самописца, когда разность фаз кратна 0,2 или 2π .

жет осуществляться и автоматически, если синхронизируемый источник имеет электронную перестройку частоты или в качестве сигнала опорной частоты используется сигнал 100 кГц с выхода прибора. Фаза сигнала 100 кГц в процессе работы непрерывно корректируется фазовращателем прибора.

Для привязки шкал времени к Государственной шкале времени используется осциллографический метод. При этом в зависимости от условий

приема применяется либо широкополосный, либо узкополосный выход. Погрешность привязки шкал времени по сигналам точного времени ДВ диапазона, обеспечиваемая прибором, ± 300 мкс.

Конструктивно прибор аналогичен прибору Ч7-9, так как они имеют об-

щую конструкцию большинства узлов.

В приемнике-компараторе используются полупроводниковые приборы и интегральные микросхемы. Приемник-компаратор по техническим характеристикам в ДВ диапазоне заменяет прибор для сличения частот Ч7-29А.

Приемники сигналов точного времени Ч7-8, Ч7-13

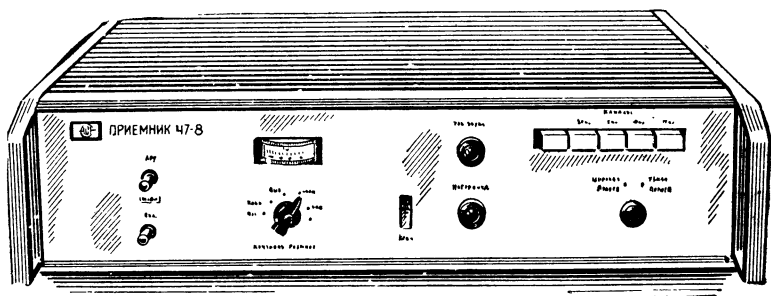


Рис. 1.18.

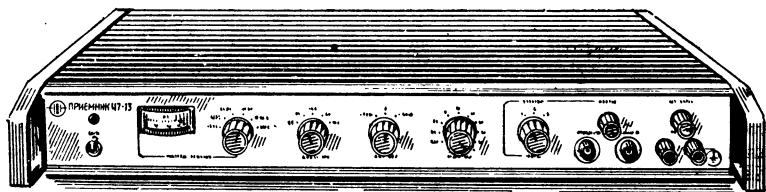


Рис. 1.19.

Приемники (рис. 1.18, 1.19) предназначены для приема сигналов точного времени и эталонных частот, передаваемых радиостанциями Государственной службы времени и частоты СССР в диапазонах КВ и ДВ.

Прибор Ч7-8 (рис. 1.20) выполнен по супергетеродинной схеме с двойным преобразованием частоты принимаемого сигнала. Функцию гетеродина выполняет синтезатор частоты, формирующий сигналы требуемых частот из опорного высокостабильно-

го сигнала от внешнего источника частоты 1 МГц. Синтезатор частот обеспечивает быструю и точную настройку приемника на любой из 12 сигналов, излучаемых радиостанциями КВ диапазона.

Приемник Ч7-13 (рис. 1.21) построен по супергетеродинной схеме с двойным преобразованием частоты в КВ диапазоне и одним преобразованием частоты в ДВ диапазоне. Полосы пропускания формируются, как и в приемнике Ч7-8, с помощью элек-

Основные технические характеристики

Параметр	Ч7-13	Ч7-8
Частоты принимаемых сигналов, кГц	66,6 (6), 100, 2500, 2500±4, 5000, 5000±4, 10000, 10000±4, 15000, 15000±4, 20000, 20000±4, 25000, 25000±4, 30000, 30000±4	2500, 2500±4, 5000, 5000±4, 10000, 10000±4, 15000, 15000±4
Чувствительность: в КВ диапазонах в ДВ диапазоне	1 мкВ при $P_c/P_{ш}=6$ дБ 2 мкВ при $P_c/P_{ш}=6$ дБ	5 мкВ при $P_c/P_{ш}=10$ дБ
Напряжение выходного сигнала, В: радиоимпульс видеоимпульс телефон	0,3 0,3 0,3	0,4 0,3 0,5
Временные задержки в приемнике, мс	3; 1,8; 1; 0,5; 0,15	1,2; 1,1
Полосы пропускания приемного тракта (на уровне 6 дБ), кГц	(0,5±0,05) (1,0±0,1) (3,1±0,3) (6,0±0,3) (18±1,0)	(1,5±0,1) (3,1±0,2)
Выходное сопротивление трактов, кОм: радиоимпульсы видеоимпульсы телефон	0,2 0,2 1	0,1 0,2 1
Полосы пропускания приемного тракта (на уровне 6 дБ), кГц	(0,5±0,05) (1,1±0,1) (3,1±0,3) (6,0±0,3) (18±1,0)	(1,5±0,1) (3,1±0,2)
Временные задержки в приемнике мс	3; 1,8; 1; 0,5; 0,15	1,2; 1,1
Частота опорного входного сигнала, МГц	1	1
Напряжение опорного входного сигнала, В	0,3—1,0	0,2—1,0
Входное сопротивление канала опорного сигнала, Ом	200	50
Нестабильность частоты за 24 ч	10^{-7}	10^{-7}
Питание от сети переменного тока	Частотой 50±0,5 Гц Напряжением 220±22 В 50±0,5 Гц, 127В±10% 60±0,6 Гц, 115В $^{+7\%}_{-3\%}$ 400 $^{+28}_{-12}$ Гц, 115В $^{+10\%}_{-15\%}$ 16	Частотой 50±0,5 Гц, Напряжением 220±22В
Потребляемая мощность, ВА	16	18
Условия эксплуатации: температура относительная влажность	от +5 до +40° С до 95% при 40° С	от +5 до +40° С до 95% при 30° С

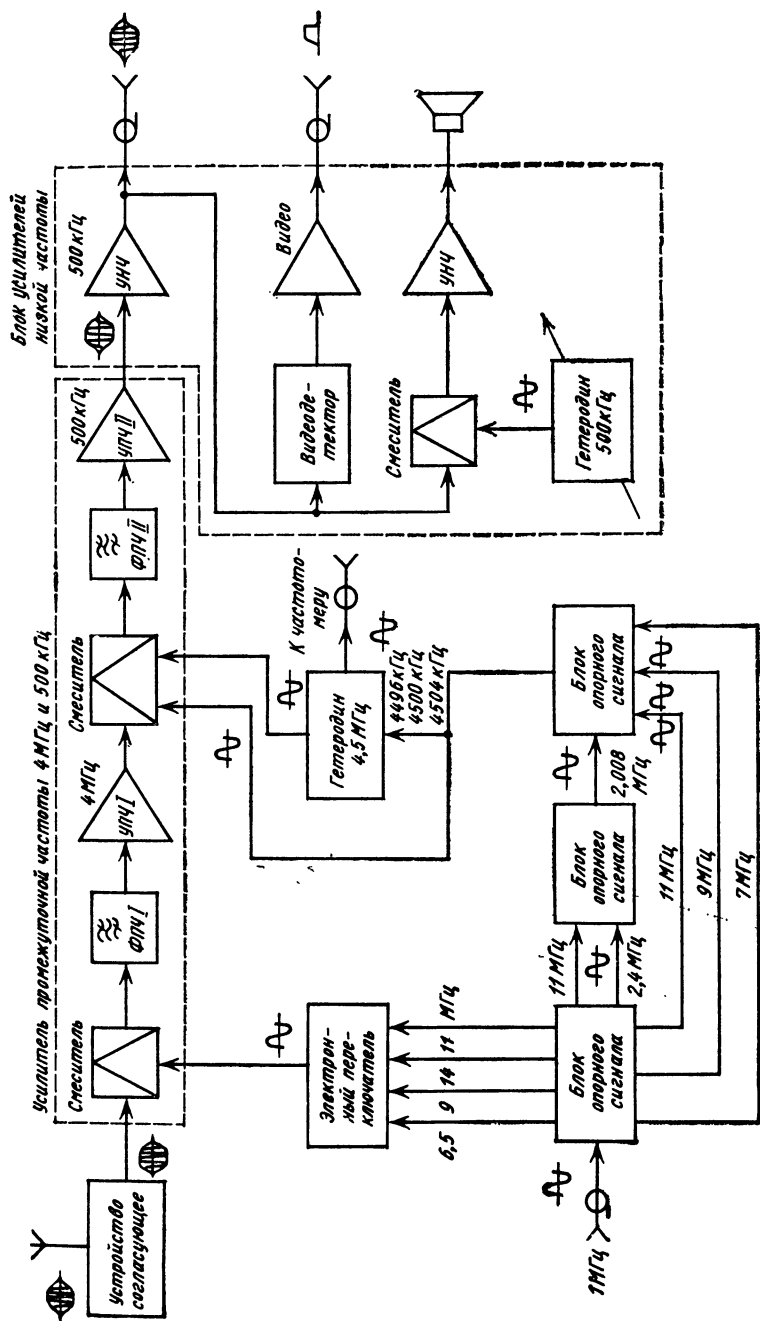


Рис. 1.20

трехмеханических фильтров, имеющих коэффициент прямоугольности 1,6 на уровне 60 дБ.

Избирательность приемника Ч7-8 по соседнему ($f_{вх} \pm 4 \text{ кГц}$) и зеркальному ($f_{вх} \pm 8 \text{ кГц}$) не менее 80 дБ. Приемник Ч7-13 имеет избирательность по соседнему и зеркальному каналам не менее 60 дБ.

ни ΔT определяется по измерению интервала времени Δt между началом развертки и принятым сигналом точного времени $\Delta T = \Delta t - \tau_p - \tau_3$, где τ_p — время распространения сигнала от антенны радиостанции до приемника, вычисляемое из графиков рис. 1.4, τ_3 — время задержки сигнала в тракте приемника. Общая по-

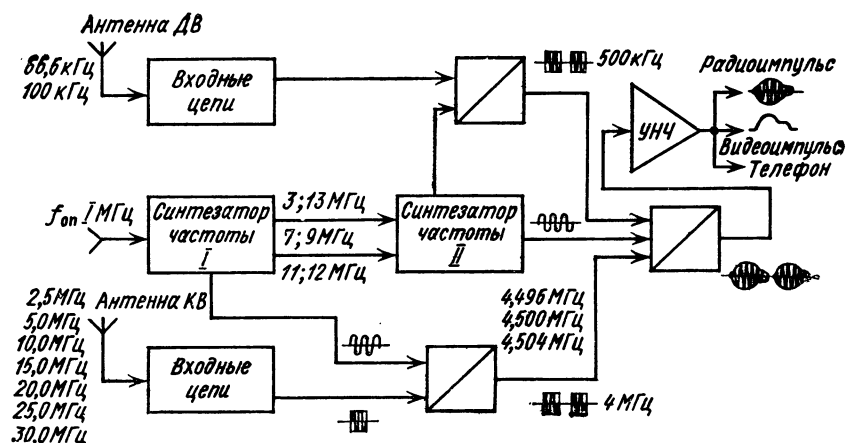


Рис. 1.21.

Выходной сигнал — радиоимпульс с несущей частотой 500 кГц, а также видеоимпульс с формой сигнала, определяемой условиями распространения радиоволн, расстоянием до передающей радиостанции, а также выбранной полосой пропускания приемного тракта. Предусмотрен контроль принимаемого сигнала с помощью головных телефонов.

Приборы работают с Г-образной, штыревой и другими антеннами открытого типа. В комплект приемника Ч7-13 входит Г-образная антенна.

При синхронизации хода электронных часов, частот стандартов и кварцевых генераторов приемники используются совместно с осциллографом С1-48Б. Развертка осциллографа запускается импульсами с частотой следования 1 с от электронных часов, сигнал с приемника подается на вход усилителя вертикального отклонения луча «Y». Расхождение шкал време-

грешность определения ΔT с помощью приемников составляет 2—3 мс.

В отдельных случаях для измерения ΔT используют измерители временных интервалов и электронно-счетные частотомеры с вставными блоками для измерения интервалов времени.

Оценивая изменения ΔT с помощью приемников, можно проводить долговременные сличения частот стандартов и кварцевых генераторов с Государственным эталоном времени и частоты СССР по сигналам точного времени, передаваемым в КВ диапазоне.

Прибор Ч7-8 состоит из отдельных блоков, которые крепятся на шасси. Соединение между блоками осуществляется с помощью высокочастотных кабелей.

Прибор Ч7-13 выполнен в виде 8 печатных плат, расположенных в отсеках литого шасси; платы соединя-

ются между собой высокочастотными разъемами.

Конструкция приборов бесфутлярная, настольного исполнения. Приборы можно встраивать в типовый шкаф.

Приемник Ч7-8 выполнен на полупроводниковых приборах, в приборе Ч7-13 используются только интегральные микросхемы.

Приемники Ч7-13 и Ч7-8 применяются в системах воспроизведения и хранения шкал времени, электронных часовых системах, системах измерения в реальном масштабе, для определения времени свершения события, а также для сличения частот кварцевых генераторов с частотой Государственного эталона времени и частоты СССР.

Компаратор частотный Ч7-12

Компаратор (рис. 1.22) предназначен для сличения частот, измерения нестабильности частоты и оценки спектральной плотности фазовых флуктуаций сигналов кварцевых и квантовых стандартов частоты, синтезаторов частот.

$2 \cdot 10^{-13}$ за время усреднения 10^2 с,
 $1 \cdot 10^{-12}$ за 1 с,
 $1 \cdot 10^{-9}$ за 10^{-3} с

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением

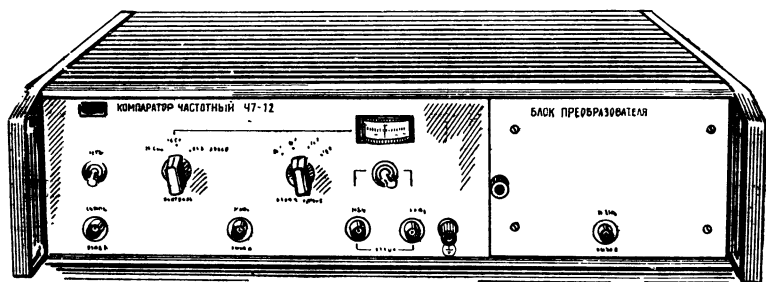


Рис. 1.22.

Основные технические характеристики

Частоты сличаемых источников $(1 \pm \Delta f)$ МГц и $(5 \pm \Delta f)$ МГц
 Напряжение сличаемых сигналов 0,5—1,5 В
 Импеданс входных каналов 150 Ом, 100 пФ

Коэффициенты умножения n :

10, 10^2 , 10^3 , 10^4 для частоты

1 МГц,

2, 20, 200, 2000 для частоты

5 МГц

Разрешающая способность измерения разности частот совместно с электронносчетным частотомером:

Частоты входных сигналов	Напряжение, В	Сопротивление входных каналов, Ом
1 МГц $\pm n\Delta f$	0,5	50
10 кГц $\pm (n-10)\Delta f$	0,5	1000
$\pm (n-10)f$	1,0	50000

220 ± 22 В и частотой $400 \pm \frac{2}{100}$ Гц, напряжением $115 \pm 5,5$ В

Потребляемая мощность 15 ВА

Условия эксплуатации: температура от $+5$ до $+40^\circ\text{C}$, относительная влажность до 95% при $+30^\circ\text{C}$

Габаритные размеры
 $490 \times 135 \times 475$ мм
 Масса 15 кг

Частота входного сигнала, МГц	Разрешающая способность измерения отношения мощностей сигнала и шумов, дБ, в полосе 6 ± 2 Гц при частоте сигнала	
	20 Гц	1000 Гц
5	120	130
1	130	140

В основу работы прибора (рис. 1.23) положен принцип умножения частоты исследуемого сигнала и сличения его с частотой сигнала образцовой

Каждая декада умножения имеет $n=10$.

Блок фазовых детекторов включает в себя два фазовых детектора, на входы которых поступают сигналы — исследуемый (частота после умножения $1 \text{ МГц} + n\Delta f$) и опорный (частота $1 \text{ МГц} + 10\Delta f$) с выхода смесителя первой декады. Один фазовый детектор используется при измерениях спектральной плотности мощности фазовых флуктуаций для автоподстройки частоты исследуемого генератора по частоте опорного сигнала. С помощью второго фазового детектора получают информацию о нестабильности частоты и изменении разности фаз колебаний исследуемых генераторов или с выхода четырехполосника.

Блок преобразователя обеспечивает самоконтроль и позволяет измерить

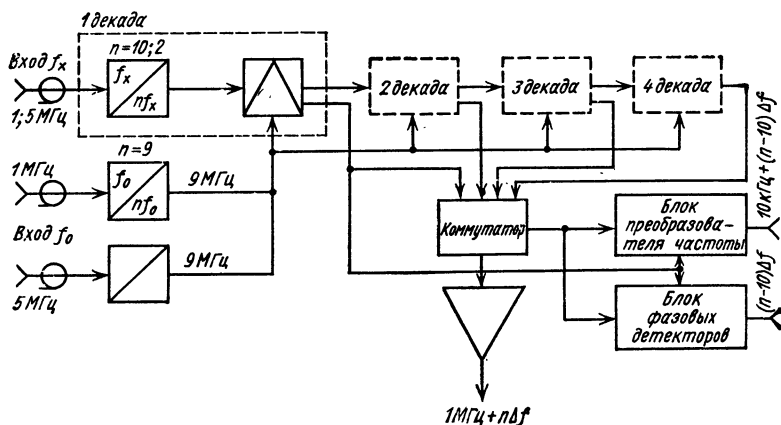


Рис. 1.23.

частоты. Расхождение (отклонение) частот сравниваемых сигналов увеличивается в n раз, при этом частота выходного сигнала равна частоте входного сигнала (1 МГц).

Компаратор состоит из четырех идентичных декад умножения разности частот входных сигналов и двух выходных устройств (блока фазовых детекторов и блока преобразователя).

нестабильность частоты входных сигналов за короткие времена усреднения (10^{-3} , 10^{-2} , 10^{-1} и 1 с) и уменьшить погрешность измерения нестабильности частоты входных сигналов до 10^{-12} при временах усреднения 1 с. Сигнал $10 \text{ кГц} + (n-10)\Delta f$ анализируется электронно-счетным частотомером в режиме измерения периода. Нестабильность частоты вно-

симая трактами прибора, не ухудшает разрешающую способность и погрешность метода измерений. Погрешность определяется качеством входных сигналов и режимами работы смесителей.

Паразитная частотная модуляция входных сигналов Δf приводит к погрешности δf , для уменьшения которой необходимо, чтобы $\Delta f \leq 0,3 n \delta f$. Боковые составляющие выходных сигналов умножителей частоты компаратора также дают паразитную частотную модуляцию. В приборе они ослаблены более чем на 65 дБ и при выбранных режимах работы смесителей индексы паразитной фазовой модуляции составляют всего лишь 0,2—3 для частот модуляции $10\Delta f$ и $100\Delta f$ и 0,01 для частот модуляции $10^3\Delta f$ и $10^4\Delta f$. Такие индексы модуляции не приводят к дополнительной погрешности измерений.

Высокая разрешающая способность компаратора позволяет использовать его для измерения паразитной фазовой модуляции сигналов высокостабильных источников частоты. Для таких измерений прибор применяется совместно с осциллографом. Фазовращатели, имеющиеся в компараторе, обеспечивают получение на экране осциллографа круговой развертки и индикации изменения фаз в градусах

или в единицах времени. Разрешающая способность такого метода измерения одновременной нестабильности частоты при $n=10^3$ за время усреднения 100 с лучше чем $5 \cdot 10^{-13}$.

Конструктивно компаратор частоты выполнен в виде блока с литым шасси. На шасси размещены умножители частоты, делители, смесители, фазовые детекторы (каждый в отдельном экране). Блок питания находится в задней части прибора.

Прибор выполнен с использованием полупроводниковых приборов и интегральных схем. Компаратор частоты Ч7-12 полностью заменяет прибор Ч7-5.

Компаратор применяется как самостоятельный прибор совместно с электронно-счетным частотомером как для высокоточных сравнений частот сигналов и фазовых измерений, так и в составе рабочих хранителей времени и частоты в специальных измерительных системах для внутренних сличений частот задающих генераторов. Высокоэффективно применение компаратора при разработке температуроустойчивых радиотехнических трактов и исследованиях поведения фазовых характеристик четырехполюсников под воздействием таких дестабилизирующих факторов, как изменение температуры.

Компаратор фазовый Ч7-17

Компаратор (рис. 1.24) предназначен для сравнения частот двух высокостабильных источников сигналов.

Основные технические характеристики

Частота сравниваемых источников
0,001—1 МГц

Напряжение входных сравниваемых
сигналов 0,5—1,5 В

Входное сопротивление каналов
1 кОм

Выходные сигналы:

постоянное напряжение, пропорциональное разности фаз, импульсный сигнал с длительно-

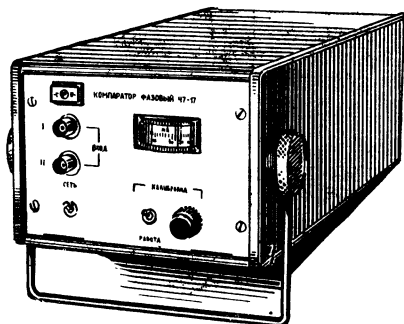


Рис. 1.24.

стью, пропорциональной разности фаз

Пределы изменения постоянного напряжения, соответствующие изменению разности фаз (0,2—1,8)π, 0—12 В

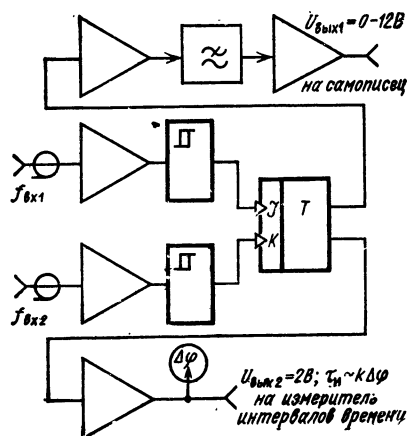


Рис. 1.25.

Отклонение напряжения от линейного закона на рабочем участке измеряемой разности фаз не более 10% от величины напряжения, соответствующего разности фаз 2π рад

Дрейф выходного напряжения за сутки для частоты 1 МГц не более 10% от значения напряжения выходного сигнала постоянного тока 12 В

Выходное сопротивление канала постоянного тока 6 кОм

Амплитуда импульсного сигнала не менее 2 В

Длительность фронта импульса не более 0,1 мкс

Выходное сопротивление канала импульсных сигналов 1 кОм

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В; частотой $400 \pm 1,5$ Гц, напряжением $115 \pm 5,5$ В, а также от источника постоянного тока напряжением -27 ± 3 В.

Потребляемая мощность 12 ВА (сеть переменного тока), 6 Вт (сеть постоянного тока)

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40°С; относительная влажность до 95% при +30°С

Габаритные размеры
380×114×120 мм

Масса 3 кг

В основе работы прибора (рис. 1.25) лежит принцип преобразования разности фаз сравниваемых сигналов в напряжение и длительность импульсов, пропорциональные разности фаз сигналов на входе.

Основным узлом является измерительный триггер, который запускается импульсами, сформированными из опорного сигнала в первом канале, и возвращается в исходное состояние импульсами, сформированными из исследуемого сигнала во втором канале. Формирование коротких импульсов происходит в момент переходов напряжений входных сигналов синусоидальной формы через нуль. Измерительный триггер вырабатывает импульсы, длительность которых пропорциональна разности фаз входных сигналов. Область нечувствительности прибора находится в пределах (0—0,2)π и (1,8—2,0)π и обусловлена временем перехода триггера из одного состояния в другое, которое зависит от длительности переходных процессов в элементах схемы триггера и длительности фронтов импульсов на входе триггера.

Импульсное напряжение с выхода измерительного триггера усиливается и интегрируется (постоянная времени 1 мс). Постоянное напряжение на выходе прибора пропорционально изменению разности фаз сигналов на входе.

При сравнении частот, не требующих высокой точности ($>10^{-6}$) относительное отклонение частот сравниваемых генераторов определяется по индикатору. Стрелка индикаторного прибора совершает периодические колебания, частота которых соответствует абсолютному отклонению значений сравниваемых частот. Относительное значение расхождения частот обратно пропорционально произведению частоты сравниваемого сигнала (в герцах) и периода биений стрелки индикатора разности фаз.

При использовании для регистрации биений самописца и для измерения длительности импульса электронно-счетного частотомера ЧЗ-38 или ЧЗ-39 с вставным блоком измерения интервалов времени ЯЗЧ-45 погрешность измерения на частоте 1 МГц за время измерения 24 ч составляет $2 \cdot 10^{-12}$. Относительное отклонение частоты двух сравниваемых сигналов $\Delta f/f$ определяется по формуле

$$\Delta f/f = \Delta \tau / (t_2 - t_1) 10^{-6},$$

где $\Delta \tau$ — разность фаз двух сигналов, выраженная в микросекундах; t_1, t_2 — моменты времени, определяющие начало и конец интервала времени измерения в секундах.

Пример обработки записи разности фаз на ленте самописца приведен на рис. 1.26.

Высокая надежность и малая потребляемая мощность определили применение компаратора Ч7-17 для непрерывного длительного контроля ча-

стоты и фазы выходных сигналов стандартов частоты.

Прибор реализован на полупроводниковых приборах и интегральных

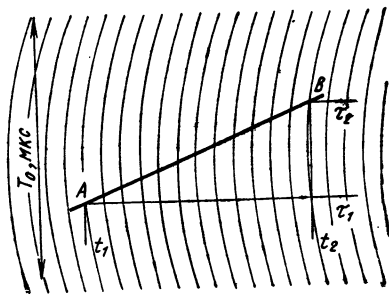


Рис. 1.26.

микрохемах. Он применяется в поверочных лабораториях при измерении нестабильности частоты и квантовомеханических стандартов частоты, а также сентизаторов частот.

1.4. Классификация опорных кварцевых генераторов и кварцевых стандартов частоты

Значительным шагом в развитии техники кварцевой стабилизации частоты для радиоизмерений было создание установок для воспроизведения образцовых частот Ч1-25, Ч1-26 и кварцевых генераторов Ч1-17 и Ч1-18, входящих в состав активного стандарта частоты Ч0-5. Нестабильность частоты измерительных кварцевых генераторов составила $5 \cdot 10^{-9}$ — $2 \cdot 10^{-8}$ за сутки. Кварцевый генератор Ч1-18 выполнял функции опорного встраиваемого кварцевого генератора для всех частотно-измерительных установок, выпускавшихся в то время.

Развитие полупроводниковой и пьезоэлементной техники позволило к настоящему времени создать опорные кварцевые генераторы с объемом до $0,5 \text{ дм}^3$ и нестабильностью частоты $(2-5) \cdot 10^{-9}$ за сутки. Нестабильность частоты кварцевых стандартов доведена до $2 \cdot 10^{-11}$ за 1 с и $5 \cdot 10^{-11}$ за сутки.

Расширение области применения

кварцевых генераторов в радиоизмерительной аппаратуре предъявляет к современным генераторам требования не только малой кратковременной нестабильности частоты и спектральной чистоты сигнала, но и сокращения периода начальной стабилизации частоты и малого старения в течение длительного срока эксплуатации.

Кварцевые генераторы предназначены для создания стабильного по частоте и фазе сигнала, который используется в различных измерительных приборах и системах. Сигнал генератора характеризуют амплитудой U , номинальным значением частоты f_n , нестабильностью частоты как долговременной $(\Delta f/f)_д$, так и кратковременной $(\Delta f/f)_кр$ и спектральными свойствами. Обычно спектральные свойства выражают через спектральные плотности амплитудного $W_a(\Omega)$, фазового $W_\phi(\Omega)$ и частотного шума $W_\omega(\Omega)$, а также через отношение

мощности сигнала к мощности гармонических и негармонических составляющих в спектре сигнала $P_c/P_{\text{ш}}$ и ширину спектра сигнал ΔF . Величина нестабильности частоты выходного сигнала зависит от окружающих условий, в которых работает генератор, и от изменений его нагрузки.

Принцип построения кварцевых генераторов основан на использовании стабилизирующих свойств кварцевых резонаторов. Основная деталь резонатора — пьезоэлемент представляет

собой пластину, вырезанную из кристалла кварца, с соответствующей ориентацией (срезом) относительно его кристаллографических осей. Срезы различаются видом температурно-частотных характеристик пьезоэлемента.

Все кварцевые генераторы имеют ряд общих элементов и узлов, конкретное выполнение которых зависит от требований, предъявляемых к параметрам выходного сигнала.

Задающие (опорные) генераторы

Задающий генератор — основной узел всех кварцевых генераторов и стандартов частоты. Он состоит из кварцевого резонатора и возбuditеля (рис. 1.27). Задача возбuditеля — создать оптимальные условия для колебания кварцевого резонатора

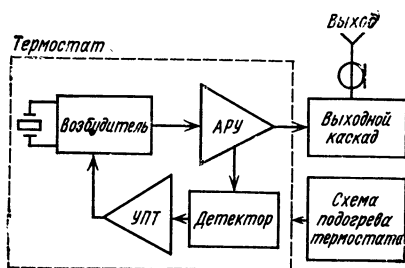


Рис. 1.27.

с точки зрения реализации его долговременности, температурно-частотной характеристики, снижения долговременных уходов частоты.

Кварцевые резонаторы с частотами 1—50 кГц возбуждаются в каскадах, содержащих минимальное число реактивных элементов. На частотах 50 кГц—30 МГц наиболее широко используется возбудитель, выполненный по схеме емкостной трехточки. На более высоких частотах наивысшую стабильность частоты обеспечивает возбудитель, собранный по схеме Батлера, в которой осуществляется компенсация статической емкости кварцевого резонатора.

Для ослабления влияния изменений окружающей температуры на частоту кварцевого генератора применяется термостатирование активными термостатами нагревательного действия. В зависимости от способа регулирования мощности подогрева термостаты разделяются на пропорционально-регулирующие и дискретно-регулирующие (включено — выключено). Системы термостатирования позволяют ослабить влияние изменений температуры на частоту генератора в 200—1000 раз. Термостаты с пропорциональным регулированием температуры обеспечивают лучшую кратковременную нестабильность частоты.

Так как частота генератора зависит от величины тока, протекающего через кварцевый резонатор, то задающие генераторы имеют АРУ (усилитель, детектор и УПТ), управляющую режимом работы каскада возбуждения и обеспечивающую постоянство уровня возбуждения резонатора. Уровень возбуждения около 1 мкВт является оптимальным и позволяет получить изменение частоты менее 10^{-11} .

Перестройка частоты кварцевого задающего генератора производится посредством изменения величин реактивных элементов (катушек индуктивности, конденсаторов), включенных в колебательный контур возбuditеля.

Выходной каскад усиления задающего генератора исключает влияние изменений величины нагрузки на частоту сигнала. Для уменьшения влияния нагрузки большое значение имеет также экранировка цепей генератора.

Кварцевые генераторы

Основным узлом кварцевого генератора как самостоятельного радиоизмерительного прибора является задающий высококачественный опорный генератор (рис. 1.28). Помимо задающего, кварцевый генератор включает

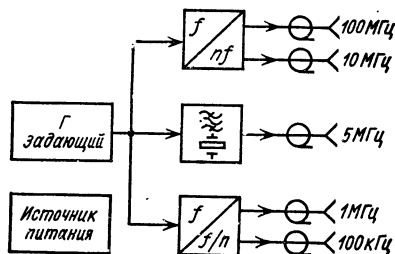


Рис. 1.28.

в себя умножители, делители частоты и кварцевый фильтр. С помощью делителей и умножителей получают сигналы с частотами, кратными частоте задающего генератора. Кварцевый фильтр улучшает отношение $P_c/P_{ш}$ на выходе усилителя мощности задающего генератора, снижает уровень шумов возбуждения и системы АРУ.

Долговременная нестабильность частоты выходного сигнала генератора обусловлена изменением частоты резонатора и параметров элементов генератора во времени — их старением. Время «старения» высокостабильных кварцевых генераторов подразделяют на два периода: начальный, в течение которого изменение частоты может достигать величины 10^{-7} — 10^{-8} за сутки, неделю, и период, в течение которого изменения частоты значительно меньше, чем в начальный и обычно не превышают величины 10^{-9} за месяц. Эти изменения в первую очередь обусловлены старением резонатора. Изменения параметров элементов задающего генератора приводят к изменениям частоты колебаний $(1-5) \cdot 10^{-9}$ за первую неделю работы и $(3-5) \cdot 10^{-12}$ за неделю после 1,5—2 месяцев непрерывной работы.

Кратковременная нестабильность частоты — изменения частоты вы-

ходного сигнала за время от 1 мс до 1 с обусловлена тепловым шумом кварцевого резонатора, элементов возбуждителя, дробовым шумом транзистора и фликкер-шумом элементов генератора. Ее можно рассчитать по формуле

$$\left(\frac{\Delta f}{f} \right)_{кр} = \frac{2\pi}{\tau} \sqrt{\frac{4kT}{f} \left(\frac{1}{P_{кв} Q_{кв}} + \frac{q}{Q_{кв} P_{кв}} + \frac{q}{P_{вх} Q_{ус}} \right)},$$

где k — постоянная Больцмана; T — температура в градусах Кельвина; q — шум-фактор транзистора; f — частота кварцевого генератора; $P_{кв}$ — мощность колебаний, рассеиваемая на кварцевом резонаторе; $P_{вх}$ — мощность сигнала на входе усилителя; $Q_{кв}$ — добротность кварцевого резонатора; $Q_{к}$ — добротность контура задающего генератора; $Q_{ус}$ — добротность контуров усилителя.

Нестабильность частоты при временах усреднения 0,1—1 с имеет боль-

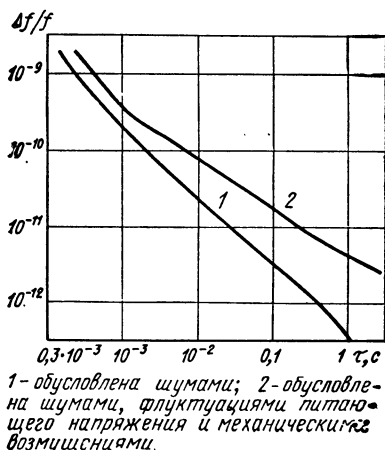


Рис. 1.29

шее значение, чем рассчитанное по приведенному соотношению, так как, помимо шумовых возмущений, на параметры кварцевого резонатора и эле-

ментов задающего генератора воздействуют механические возмущения, пульсации и флуктуации питающих напряжений (рис. 1.29).

Стандарты частоты кварцевые

Стандарты частоты на базе кварцевого генератора имеют частоты выходных сигналов 0,1; 1 и 5 МГц. В состав стандартов частоты входят специальные устройства, обеспечивающие высокие спектральные характеристики выходного сигнала и нормальное функционирование стандарта при случайных внезапных отключениях питающей сети, длительную непрерывную работу без вмешательства оператора, периодический автоматический контроль работоспособности и параметров выходного сигнала.

Стандарты частоты имеют встроенные аккумуляторные батареи. Переход на аккумуляторное питание происходит автоматически, без нарушения нормальной работы стандарта. Стандарт имеет зарядное устройство для подзарядки аккумуляторной батареи.

Современные стандарты частоты допускают электронную перестройку частоты в пределах $2 \cdot 10^{-8}$ с разрешением 10^{-11} , предназначенную для пе-

риодической коррекции действительного значения частоты стандарта и синхронизации его с другими стандартами или сигналами образцовых частот, передаваемыми радиостанциями Государственной службы времени и частоты СССР.

Специальные усилители — восстановители спектра, эксплуатируемые совместно со стандартами частоты, позволяют расщепить выходной сигнал стандарта и транслировать его по кабелю на расстояния до 200 м без ухудшения параметров сигнала. Благодаря применению таких устройств от одного стандарта можно подавать сигналы образцовых частот на несколько рабочих мест.

Кварцевые стандарты частоты являются неотъемлемой частью систем хранения частоты и времени, групповых стандартов частоты, так как они имеют высокую надежность и хорошие эксплуатационные характеристики.

1.5. Опорные кварцевые генераторы и кварцевые стандарты частоты

Группа опорных кварцевых генераторов и стандартов частоты состоит из автономных приборов и встраиваемых модулей. В нее входят стандарты частоты, кварцевые генераторы, усилители высокостабильных сигналов, блоки резервирования и контроля.

Задающие (опорные) кварцевые генераторы — модули имеют нестабильность $2 \cdot 10^{-8}$ — $5 \cdot 10^{-9}$ за сутки и используются в качестве источников высокостабильных по частоте сигналов в радиоизмерительных приборах, а также в качестве синхронизируемых генераторов в составе квантовой механических стандартов частоты.

Кварцевые генераторы, так же как и стандарты, воспроизводят сигналы образцовых частот с номинальными значениями 0,1; 1 и 5 МГц и стандартным выходным напряжением 1 В. Нестабильность частот их выходных сигналов $5 \cdot 10^{-11}$ за сутки, $2 \cdot 10^{-11}$ за 1 с, $1 \cdot 10^{-9}$ за 1 мс, отношение $P_{\text{с}}/P_{\text{ш}} = 110$ —140 дБ. Они применяются в системах для частотно-временных измерений, используются в качестве рабочих мер частоты, в СВЧ радиоспектроскопии для возбуждения сверхтонких атомных переходов, в системах связи с подавленной несущей и временным уплотнением каналов, при геодезиче-

ских, радиоастрономических и других научных экспериментах и исследованиях.

Приборы резервирования и контроля используют в системах хранения времени и частоты и создают условия для безаварийной длительной эксплуатации рабочих мер времени и частоты. Они обеспечивают 24-часовую ра-

боту стандартов при выключенной сети питания; контролируют работу узлов стандартов по уровню выходного сигнала, потребляемому току и температуре, автоматически отключают неисправные стандарты, включают резервные, не нарушая нормальной работы и характеристик групповой меры времени и частоты.

Генератор кварцевый Ч1-40 (Ч5-10)

Прибор (рис. 1.30) предназначен для формирования стабильных по частоте сигналов синусоидальной формы.

$\pm 1 \cdot 10^{-9}$ за 1 ч,
 $\pm 1 \cdot 10^{-10}$ за 10 и 1 с,
 $\pm 5 \cdot 10^{-10}$ за 0,1 с,
 $\pm 1 \cdot 10^{-9}$ за 0,01 с,
 $\pm 5 \cdot 10^{-9}$ за 0,001 с

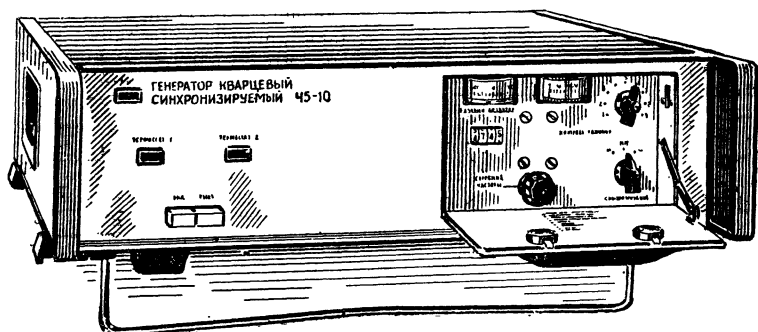


Рис. 1.30

Основные технические характеристики

Номинальные значения частот выходных сигналов 0,1; 1; 5 МГц.

Напряжение выходных сигналов 1 В эфф на нагрузке 50 Ом.

Пределы перестройки частоты относительно номинала $\pm 1,5 \cdot 10^{-7}$.

Относительное изменение среднего значения частоты сигнала за сутки после 2 ч самонагрева $\pm 3 \cdot 10^{-8}$; после одного месяца непрерывной работы $\pm 1 \cdot 10^{-9}$.

Среднеквадратическая относительная случайная вариация частоты после 24 ч непрерывной работы:

Температурный коэффициент частоты $5 \cdot 10^{-10}$ на 1°C .

Отношение мощности сигнала к мощности сетевых составляющих в спектре сигнала более 96 дБ; к мощности шумов, измеренной в полосе 6 ± 2 Гц, более 100 дБ

Синхронизирующий сигнал 5 МГц, 0,5 В

Управляющее напряжение ± 3 В

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц и напряжением 220 ± 22 В, а также от источника постоянного тока напряжением 27 ± 3 В

Потребляемая мощность:

при прогреве 40 ВА,
 в установившемся режиме 30 ВА

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40° С, относительная влажность до 98% при 30° С.

Габаритные размеры

480×120×475 mm

Масса 20 кг

Структурная схема прибора приведена на рис. 1.31. Задающий каскад

Регенеративный делитель преобразует частоту сигнала с 5 МГц к 1 и 0,1 МГц. Блок автоматической подстройки фазы обеспечивает дистанционное изменение частоты задающего генератора и синхронизацию фазы выходного сигнала по фазе внешнего, более стабильного сигнала. Изменение частоты внутренним корректором производится с помощью постоянного на-

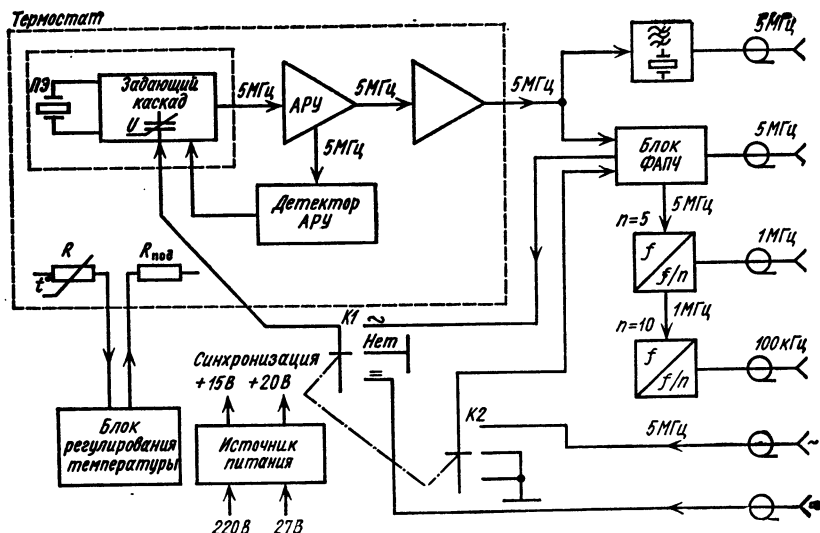


Рис. 1.31

генерирует сигнал с частотой 5 МГц. Стабилизация частоты колебаний осуществляется кварцевым резонатором с добротностью $2 \cdot 10^6$. Мощность, рассеиваемая на резонаторе, составляет 5 мВт и с помощью АРУ поддерживается постоянной в пределах $\pm 0,5\%$. Кварцевый резонатор, элементы задающего каскада АРУ и буферного усилителя помещены в одноступенчатый термостат, температура в котором поддерживается с точностью $0,1^\circ\text{C}$. Схема регулирования термостатом выполнена на переменном токе.

Для получения высокого отношения сигнал/шум сигнала на выходе задающего каскада включается кварцевый фильтр с полосой пропускания 100 Гц.

пряжения, изменяющегося в пределах $\pm(0.5-12)$ В

В режиме внешней синхронизации на цепь управления частотой подается напряжение от внешнего источника (фазового детектора системы ФАПЧ или частотного детектора системы ЧАП). При синхронизации сигналом с частотой 5 МГц напряжение в цепь управления поступает с фазового детектора блока ФАПЧ генератора. Это позволяет использовать генератор в качестве узкополосного фильтра, когда необходимо улучшить спектральные характеристики сигнала, особенно при трансляции высокостабильных сигналов по кабельным линиям на значительное расстояние.

Генератор Ч1-40 применяется в качестве источника высокостабильных по частоте сигналов в измерительных системах и системах различного назначения, имеющих длительный режим непрерывной работы и режим взаимной синхронизации частоты опорных сигналов.

Электронная перестройка частоты внешним постоянным напряжением позволяет использовать генератор сов-

местно с приемниками эталонных частот для построения хранителей частоты, систем для воспроизведения образцовых частот с привязкой к Государственному эталону времени и частоты СССР.

Прибор выполнен в футляре бескаркасной конструкции, схемы изготовлены с применением печатного монтажа и полностью на полупроводниковых приборах.

Стандарт частоты Ч1-53

Прибор (рис. 1.32) предназначен для воспроизведения, хранения и выдачи высокостабильных по частоте сигналов синусоидальной формы в режиме непрерывной длительной работы.

$\pm 5 \cdot 10^{-9}$ после 24 непрерывной работы,
 $\pm 5 \cdot 10^{-10}$ после 1 месяца непрерывной работы

Среднеквадратическая относительная случайная вариация частоты сиг-

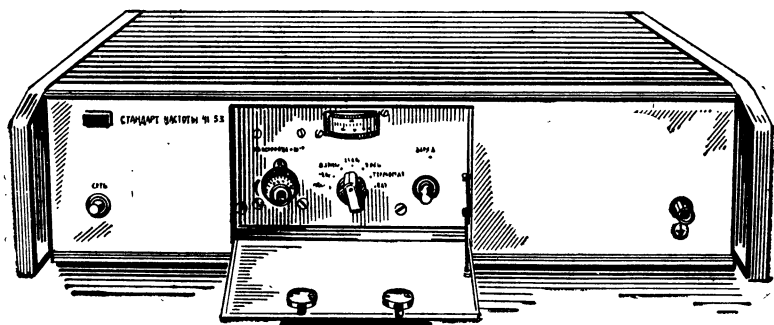


Рис. 1.32

Основные технические характеристики

Номинальные значения частоты выходных сигналов 0,1; 1 и 5 МГц.

Напряжение выходных сигналов 1 В эфф на нагрузке 50 Ом.

Пределы корректировки частоты относительно номинального значения $\pm 1,25 \cdot 10^{-7}$.

Относительное изменение среднего значения частоты сигнала за 1 сутки:
 $\pm 5 \cdot 10^{-8}$ после 2 ч самопрогрева,
 $\pm 2 \cdot 10^{-8}$ после 8 ч самопрогрева,

нала после 24 ч непрерывной работы:
 $\pm 2 \cdot 10^{-11}$ за 1 с,
 $\pm 2 \cdot 10^{-11}$ за 10 с.

Температурный коэффициент частоты $\pm 1 \cdot 10^{-10}$ на 1°C .

Отношение сигнал/шум в спектре выходного сигнала 95 дБ для сетевых составляющих.

Ослабление гармонических составляющих выходных сигналов не менее -40 дБ.

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В или частотой $400 \pm 1,2$ Гц, напряжением $115 \pm 5,5$ В, 220 ± 22 В.

Отстройка от несущей, Гц	Отношение сигнал/шум, дБ, в спектре вы- ходного сигнала для шумов, измеренных в полосе 6 ± 2 Гц
30	105
300	120
3000	135

а также от источника постоянного то-
ка напряжением $+27 \pm 3$ В.

Потребляемая мощность:

при прогреве 60 ВА,

в установившемся режиме 25 ВА

Условия эксплуатации: температура
от $+5$ до $+40^\circ\text{C}$, относительная
влажность до 98% при $+30^\circ\text{C}$.

Габаритные размеры

$480 \times 120 \times 475$ мм

Масса 20 кг

Задающий каскад кварцевого гене-
ратора выполнен по схеме емкостной
трехточки (рис. 1.33). Для стабилиза-
ции амплитуды колебаний в генераторе
применена система АРУ. Кварце-
вый резонатор размещен в одноступе-
ненчатом термостате, схема подогрева
которого выполнена на постоянном
токе

С выхода кварцевого генератора
сигнал поступает на кварцевый
фильтр и делители частоты, затем че-
рез буферный усилитель — на выход-
ной разъем. Кварцевый фильтр, вы-
полненный по мостовой схеме, улуч-
шает спектральные характеристики
выходного сигнала. Синхронное преоб-
разование сигнала частоты 5 МГц в
сигналы с частотами 1 и 0,1 МГц осу-
ществляется в регенеративных дели-
телях частоты

Электронная перестройка частоты
генератора обеспечивает дистанцион-
ное управление частотой выходного
сигнала. При использовании внешнего

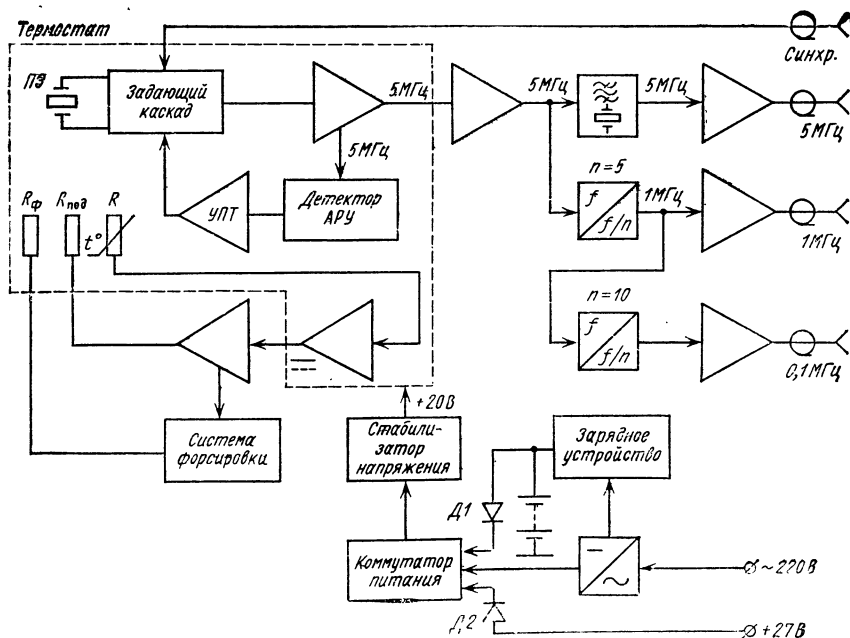


Рис. 1.33

детектора возможна синхронизация частоты стандарта частотой другого, более высокостабильного стандарта или образцовой частотой, передаваемой по радиоканалу или кабельной линии связи. Внутренняя аккумуляторная батарея обеспечивает работу прибора в течение 4 ч при отключении питающей сети. Переключение с одного вида питания на другой производится автоматически, при этом параметры выходного сигнала не изменяются.

Стандарт частоты Ч1-53 выполнен в виде автономного прибора в футляре бескаркасной конструкции.

Прибор реализован полностью на транзисторах с применением интегральных микросхем. На передней панели прибора находится ниша, в которой размещены индикатор и переключатель системы контроля режимов, ручка коррекции частоты выходных

сигналов и тумблер заряда внутренней аккумуляторной батареи. Выходные сигналы снимают с разъемов, расположенных на задней панели.

В качестве теплоизоляции термостата используется сосуд Дьюара. Применение вспененного пенопласта в термостате упростило конструкцию термостата, обеспечив монолитность и жесткость кварцевого генератора. Функциональные законченные схемы прибора выполнены в виде самостоятельных узлов, что значительно упрощает проведение регулировочных и профилактических работ.

Стандарт частоты Ч1-53 применяется в качестве рабочего хранителя (вторичного стандарта) частоты и источника образцовых частот в измерительных системах: системах сличения частот, микроволновой спектроскопии, доплеровских и связанных системах.

1.6. Классификация квантовомеханических стандартов частоты

По назначению квантовомеханические стандарты частоты (КМСЧ) аналогичны кварцевым генераторам.

Первым КМСЧ был молекулярный стандарт частоты Ч1-12, представлявший уникальную измерительную установку, обеспечивав нестабильность частоты 10^{-9} , но требовал специального обслуживания.

КМСЧ второго поколения Ч1-42 (цезиевый стандарт частоты), Ч1-43 (рубидиевый стандарт частоты) и Ч1-44 (водородный стандарт частоты) стали уже обычными радиоизмерительными приборами, простыми и надежными в эксплуатации, обеспечивающими нестабильность частоты 10^{-10} — 10^{-12} . Они нашли широкое применение в качестве источников высокостабильных колебаний в системах навигации, радиосвязи, радиоастрономии, в комплексе с часами — для хранения шкалы времени.

Современные КМСЧ, выполненные полностью на полупроводниковых приборах с применением интегральных микросхем, обеспечивают хранение ча-

стоты и шкалы времени с погрешностью $3 \cdot 10^{-11}$ — $5 \cdot 10^{-14}$, имеют питание с двух- и трехкрапными резервированием. Достигнутая с КМСЧ наивысшая стабильность частоты сигналов поставила на повестку дня задачу создания транспортируемых стандартов частоты и времени и малогабаритных, с большим сроком службы рабочих эталонов времени и частоты для научных и промышленных предприятий.

Выходной сигнал КМСЧ, кроме характеристик, которыми описывается сигнал кварцевого генератора, имеет такие характеристики, как воспроизводимость частоты от прибора к прибору и от включения к включению, систематическое изменение частоты от суток к суткам и за более длительный интервал времени. Как хранители шкал времени они характеризуются погрешностью воспроизведения и хранения шкалы времени, видом выдаваемых сигналов времени, формой и точностью отсчета текущего времени.

КМСЧ подразделяются на стандарты с квантовым генератором и квантовым дискриминатором. Первые представляют собой системы с фазовой автоподстройкой частоты (ФАПЧ), вторые — системы с частотной автоподстройкой частоты (ЧАП). Системы с квантовым генератором являются активными стандартами, а с квантовым дискриминатором — пассивными. КМСЧ на обычном аммиаке и аммиаке, обогащенном изотопом азота N^{15} , на формальдегиде, цианистом водороде, атомарном водороде и рубидии Rb^{87} относятся к активным КМСЧ. К пассивным относятся КМСЧ с атомно-лучевыми трубками (АЛТ) на цезии и таллии, с дискриминаторами с оптической накачкой и оптическим детектированием на парах щелочных металлов.

КМСЧ состоит из трех основных узлов (рис. 1.34).

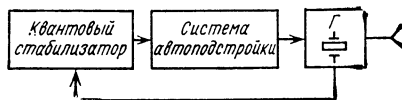


Рис. 1.34

Кварцевый генератор обеспечивает выходной сигнал квантовомеханического стандарта частоты и определяет его кратковременную нестабильность частоты.

Квантовый стабилизатор (дискриминатор, генератор) служит эталоном, под который стабилизируется частота кварцевого генератора.

Физические основы работы

Принцип действия КМСЧ основан на стабилизации частоты сигналов кварцевого генератора по частоте электромагнитного излучения при переходе атомов вещества из одного энергетического состояния в другое. Энергия атомов и молекул имеет лишь вполне определенные дискретные значения. При взаимодействии атомов и молекул с внешним электромагнитным полем в определенных условиях имеют место изменения их энергетических состояний. При этом атом или молекула, переходя на более высокий энергетический уровень, поглощает квант энергии или, переходя на более низкий энергетический уровень, излучает квант энергии.

Квантовые переходы, которые используются для стабилизации частоты, обусловлены магнитными силами взаимодействия валентных электронов и ядер в атомах элементов первой и третьей групп периодической системы Д. И. Менделеева (водород, натрий, рубидий, цезий, таллий). Они связаны с изменением ориентации магнитного момента валентного электрона относительно магнитного момента атома. Магнитный момент электрона μ_e может иметь одно из двух возможных

направлений: направление магнитного поля ядра или противоположное ему, вследствие чего полный магнитный момент атома может принимать два значения. Каждому состоянию соответствует определенный уровень энергии атома. При изменении ориентации магнитного момента электрона происходит излучение или поглощение кванта электромагнитной энергии. Атом каждого вещества имеет свою частоту излучения. Изменение ориентации магнитного момента электрона происходит под воздействием внешнего электромагнитного поля, частота которого должна совпадать с частотой гиромагнитной прецессии электрона (ларморовской частотой) $\omega = \mu_e H_1 / \hbar S$, где $\hbar S$ — механический вращательный момент электрона; H_1 — напряженность магнитного поля ядра; $\hbar = h/2\pi$, h — постоянная Планка; S — спин электрона.

Магнитная составляющая внешнего электромагнитного поля при этом должна быть параллельна магнитному полю ядра

Электромагнитное поле в КМСЧ создается сигналом кварцевого генератора, частота которого преобразована путем умножения до частоты пре-

цессии электрона. Так как в КМСЧ используется группа атомов с преобладанием какой-то одной определенной ориентации магнитного момента электрона, то при совпадении этих частот будет излучаться или поглощаться энергия. При неточном совпадении частот наблюдается зависи-

мость величины излучаемой или поглощаемой энергии от величины расстройкой. Эта зависимость в КМСЧ используется для выработки сигнала ошибки и автоматической подстройки частоты кварцевого генератора под частоту прецессии электрона.

Стандарты частоты с квантовым генератором

Сигналы квантовых генераторов имеют малую выходную мощность (10^{-12} — 10^{-11} Вт), поэтому их невозможно использовать непосредственно в качестве сигнала стандарта частоты. В связи с этим с помощью системы ФАПЧ производится усиление мощности сигнала и перенос его стабильности на частоту сигнала кварцевого генератора.

Наиболее общей является схема стандарта частоты с квантовым генератором, представленная на рис. 1.35.

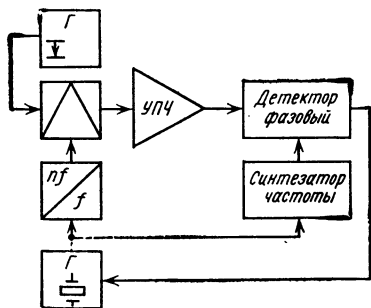


Рис. 1.35

При частоте квантового генератора 22789,421 МГц (генератор на аммиаке) и выше, когда мощность СВЧ сигнала при прямом умножении частоты кварцевого генератора оказывается недостаточной для того, чтобы полу-

чить нужное превышение сигнала УПЧ над шумами, применяют вспомогательный генератор на СВЧ, синхронизируемый кварцевым генератором с помощью дополнительного кольца ФАПЧ.

В случае очень малой мощности квантового генератора (водородного) для обеспечения нужного превышения сигнала УПЧ над шумами применяют специальные маломощные усилители или двойное (иногда даже тройное) преобразование частоты. Для получения узкой полосы УПЧ вместо синтезатора иногда используют вспомогательный кварцевый генератор со схемой компенсации ошибки.

Серийными моделями КМСЧ с квантовым генератором являются молекулярный (на аммиаке) и водородный стандарты частоты. В молекулярном генераторе используется индуцированное излучение возбужденных молекул аммиака $N^{14}H_3$: $J=3$, $K=2$ и $N^{15}H_3$: $J=3$, $K=3$ (J — вращательный момент количества движения частицы, K — проекция J на ось симметрии молекулы).

В КМСЧ на атомарном водороде используется переход $F=1$, $m_F=0 \leftrightarrow \leftrightarrow F=0$, $m_F=0$ между подуровнями сверхтонкой структуры основного состояния атома водорода, которая возникает в результате взаимодействия спинов электрона и ядра (F — полный момент количества движения, m_F — проекция F на направление магнитного поля).

Стандарты частоты с квантовым дискриминатором

В пассивном КМСЧ (рис. 1.36) частота кварцевого генератора преобразуется с помощью синтезатора и умножителя частоты в частоту гиромаг-

нитной прецессии электронов рабочего вещества дискриминатора. В дискриминаторе сигнал либо усиливается (энергия излучается атомами веще-

ства при переориентации магнитного момента электрона), либо ослабляется (энергия поглощается атомами вещества при переориентации магнитного момента электрона). Зависимость мощности сигнала на выходе квантового дискриминатора от частоты расстрой-

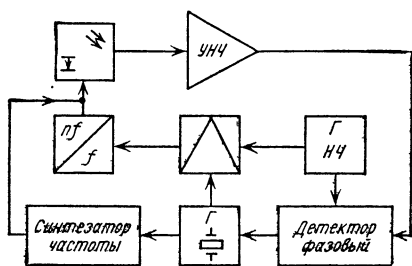


Рис. 1.36

ки имеет форму резонансной кривой, которую называют линией атомного перехода. Ширина линии и ее стабильность зависят от типа рабочего вещества и конструкции дискриминатора.

Сигнал с выхода дискриминатора несет информацию о величине отклонения частоты сигнала кварцевого генератора от частоты гиромагнитной прецессии электрона (частоты вершины линии атомного перехода). Для определения знака отклонения частоты

сигнал кварцевого генератора подвергается частотной модуляции. Выходной сигнал дискриминатора в таком случае дает информацию о величине и знаке расстройки частоты кварцевого генератора относительно частоты атомного перехода, а именно: величина напряжения первой гармоники на выходе дискриминатора пропорциональна расстройке между частотами, а фаза указывает на знак этой расстройки.

На фазовом детекторе при сравнении выходного сигнала дискриминатора с сигналом низкочастотной модуляции получается постоянное положительное или отрицательное напряжение, величина которого зависит от расстройки частот. Напряжение с выхода фазового детектора используется для подстройки частоты синхронизируемого кварцевого генератора.

Так как значения частот атомных переходов являются многозначными числами, то для сравнения частоты сигнала кварцевого генератора с частотой перехода в состав КМСЧ вводят синтезаторы, которые можно включать либо в кольцо системы автоматической подстройки (рис. 1.36), либо на выходе КМСЧ (рис. 1.37). Второй вариант применяется в тех случаях, когда кварцевый генератор работает на специально подобранной частоте, кратной атомному переходу. При этом несимметричность боковых спектральных составляющих сигнала синтезатора не вызывает смещения наблюдаемой резонансной частоты атомного перехода.

Быстродействие системы ЧАП определяет условия подавления флуктуаций частоты, вносимых в выходной сигнал КМСЧ синхронизируемым кварцевым генератором.

Система ЧАП по отношению к флуктуациям частоты кварцевого генератора эквивалентна высокочастотному RC-фильтру.

От эффективности работы системы ЧАП стандарта зависит не только нестациональность частоты выходного сигнала, но и величина систематического смещения частоты за длительные интервалы времени. Смещение частоты связано с параметрами системы ЧАП

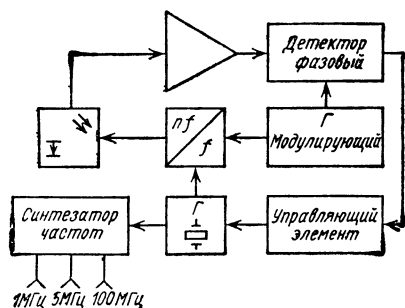


Рис. 1.37

и ее типом. В статической системе ЧАП

$$\Delta f_{\text{ост}} = \Delta f_n / |K_{\text{ЧАП}}(j\Omega)|,$$

где $\Delta f_{\text{ост}}$ и Δf_n — остаточная и начальная расстройка соответственно; $K_{\text{ЧАП}}(j\Omega)$ — коэффициент регулирования системы ЧАП, характеризующий эффективность ее работы.

В аstatической системе ЧАП остаточная расстройка не зависит от начальной и имеет определенную величину для конкретной системы. К такой системе относится КМСЧ с механическим управлением частотой синхронизируемого кварцевого генератора. Система КМСЧ с электронным управляющим элементом значительно проще и экономичнее. К ее достоинствам следует отнести безынерционность, отсутствие «мертвой» зоны, компактность. Благодаря применению интегрирующего усилителя погрешность системы ЧАП из-за статизма существенно меньше погрешностей, вносимых квантовым дискриминатором.

Коэффициент регулирования системы ЧАП с интегрирующим усилителем имеет значение порядка 10^5 — 10^8 . Погрешность регулирования в этом случае при смещении частоты внутреннего кварцевого генератора на $1 \cdot 10^{-7}$ за месяц составляет $1 \cdot 10^{-12}$ — $1 \cdot 10^{-15}$.

Наиболее простым КМСЧ является рубидиевый стандарт частоты на газовой ячейке с оптической накачкой и оптической индикацией линии перехода $F=2, m_F=0 \leftrightarrow F=1, m_F=0$ (0—0 переход) сверхтонкой структуры основного состояния атома Rb^{87} с частотой 6834,68 МГц.

КМСЧ на пучке атомов Cs^{133} является прецизионным прибором и создан на базе атомно-лучевой трубки (АЛТ). Работа АЛТ основана на взаимодействии атомов пучка с СВЧ полем в резонансных переменных магнитных полях (метод Рамзея). Для стабилизации частоты используется средний максимум спектра излучения атомного перехода между подуровнями сверхтонкой структуры $F=4, m_F=0 \leftrightarrow F=3, m_F=0$, имеющего частоту 9192,631770 Гц.

1.7. Квантовомеханические стандарты частоты

Известны три типа КМСЧ (табл. 1.3), различающиеся кратковременной и долговременной стабильностью частоты, разной воспроизводимостью

значения частоты и предназначенные для частотных измерений в условиях лабораторий, поверочных пунктов Комитета стандартов и предприятий, вы-

Таблица 1.3

Характеристики	Тип КМСЧ		
	активный водородный Ч1-46	пассивный цезиевый Ч1-47	пассивный рубидиевый Ч1-50
Воспроизводимость частоты от образца к образцу, 10^{-12}	± 7	± 50	Не оговаривается
Систематическое изменение воспроизводимой частоты за весь срок службы, 10^{-12}	$\pm 0,3$	± 10	$\leq \pm 20$ за месяц
Нестабильность частоты за 1 сут, 10^{-13}	$\pm 0,7$	± 50	± 50
за 1 с, 10^{-12}	$\sim \pm 1,5$	± 20	± 20

пускающих и эксплуатирующих частотно-измерительную аппаратуру высокой точности и стабильности.

КМСЧ имеют частоты выходных сигналов 0,1; 1 и 5 МГц. В состав стандартов, помимо устройств стабилизации частоты, входят специальные каскады формирования шкал и сигналов времени, коррекции значений частот выходных сигналов, отсчетные устройства текущего времени, узлы резервирования по питанию, узлы контроля работоспособности стандарта и параметров выходного сигнала.

КМСЧ формируют сигналы времени в виде последовательности импульсов с частотой следования 1 Гц без задержки и с регулируемой задержкой от 0 до 999999,9 мкс с шагом в 1 мкс.

В ряде стандартов частоты имеют встроенные аккумуляторные батареи и устройство для их подзарядки. Переход на аккумуляторное питание

происходит автоматически, без нарушения нормальной работы стандарта. Погрешность хранения шкалы времени при переходе на аварийное питание не более 0,01 мкс.

Водородный стандарт частоты, имеющий наивысшую воспроизводимость частоты, состоит из двух одинаковых приборов Ч1-46. Второй стандарт обеспечивает точную настройку резонатора водородного генератора на вершину спектральной линии и периодическую поверку прибора у потребителя.

КМСЧ на цезии отличается от рубидиевого неизменностью значения частоты в течение всего срока службы.

Стандарт частоты и времени на рубидии имеет калиброванную перестройку частоты, которая составляет $19 \cdot 10^{-10}$, и автоматическую систему контроля работоспособности прибора со световой индикацией.

Стандарт частоты водородный Ч1-46

Прибор (рис. 1.38) предназначен для воспроизведения и хранения единицы частоты — герца с метрической точностью, формирования и выдачи сигналов синусоидальной формы с частотами 0,1; 1 и 5 МГц.

Основные технические характеристики

Номинальные значения частот выходных сигналов 0,1; 1 и 5 МГц. Напряжение выходных сигналов 1 В эфф на нагрузке 50 Ом

Систематическое отклонение частоты от номинального значения $4 \cdot 10^{-11}$.

Погрешность среднего действительного значения частоты при выпуске с завода-изготовителя $1 \cdot 10^{-11}$ (может быть произведена калибровка по Государственному эталону с меньшей погрешностью).

Среднеквадратическая относительная погрешность воспроизведения действительного значения частоты (от включения к включению) $3 \cdot 10^{-13}$.

Среднеквадратическая относительная случайная вариация частоты:

за 1 с не более $\pm 1,5 \cdot 10^{-12}$,
за 10 с не более $\pm 3 \cdot 10^{-13}$,
за 100 с не более $\pm 4 \cdot 10^{-14}$,
за 1 ч не более $\pm 5 \cdot 10^{-14}$

Относительное изменение среднего значения частоты сигнала $\pm 7 \cdot 10^{-14}$ за 1 сут.

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В; частотой $400 \pm \frac{2}{10}$ Гц, напряжением $220(115)$ В $\pm 5\%$, а также от источника постоянного тока напряжением $\pm 27 \pm 3$ В

Потребляемая мощность от сети переменного тока 300 ВА, от источника постоянного тока 250 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35° С, относительная влажность до 90% при +30° С.

Габаритные размеры

570×572×1900 мм

Масса 330 кг

Работа прибора основана на квантовом явлении вынужденного излучения атомов водорода на частоте 1420,4057516 МГц, обладающей чрезвычайно высокой стабильностью.

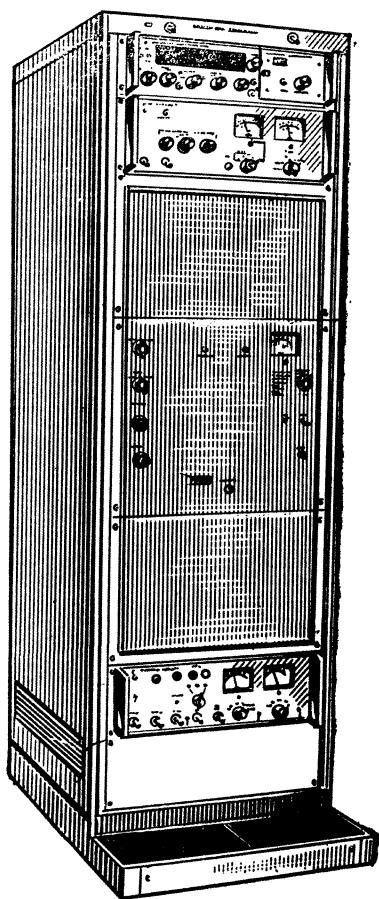


Рис. 1.38

Основой стандарта является водородный генератор (рис 1.39). Пучок атомов водорода формируется коллиматором. Сортировка атомов по энергетическим состояниям и фокусировка активных атомов на выходное отверстие накопительной кварцевой колбы производится с помощью сортирующего шестиполусного постоянного магнита. Накопительная колба размещена в резонаторе, настроенном на частоту квантового перехода атомов.

Работа стандарта заключается в следующем: часть энергии, излучаемая атомами в резонаторе, поступает на вход маломощного супергетеродинного приемника с тройным преобразованием частоты.

Сигнал с выхода приемника одновременно с опорным сигналом 1 МГц с выхода делителя частоты подается на фазовый детектор, который вырабатывает управляющее напряжение для синхронизации частоты кварцевого генератора.

Стандарт частоты обеспечивает свои характеристики через 4 суток прогрева и через 2 ч после включения с предварительно прогретой системой термостатирования. Для уменьшения времени выхода в рабочий режим в приборе предусмотрено раздельное включение стандарта и системы термостатирования.

В приборе имеется полуавтоматическая система контроля и обнаружения неисправности. Эта система обеспечивает световую сигнализацию при отказе кольца фазовой автоподстройки и его элементов, а также при выходе из строя систем термостатирования водородного генератора. Определение неисправного узла осуществляется с помощью двух переключателей и двух гальванометров. Нормальная работа стандарта частоты требует регулярного включения его не реже одного раза за 10 сут. Это необходимо для поддержания рабочего вакуума в водородном генераторе. В комплект поставки стандарта входят два прибора Ч1-46. Второй прибор необходим для точной настройки резонатора водородного генератора на частоту спектральной линии, что позволяет обеспечить высокую воспроизводимость частоты выходного сигнала. Наличие второго прибора снимает трудности, связанные с периодической поверкой стандарта у потребителя. Для обеспечения надежной работы в стандарте предусмотрено включение резервной внешней сети питания +27 В, переход на которую происходит автоматически при отключении сети переменного тока.

В стандарте частоты предусмотрена возможность проведения частотных и фазовых измерений долговременной

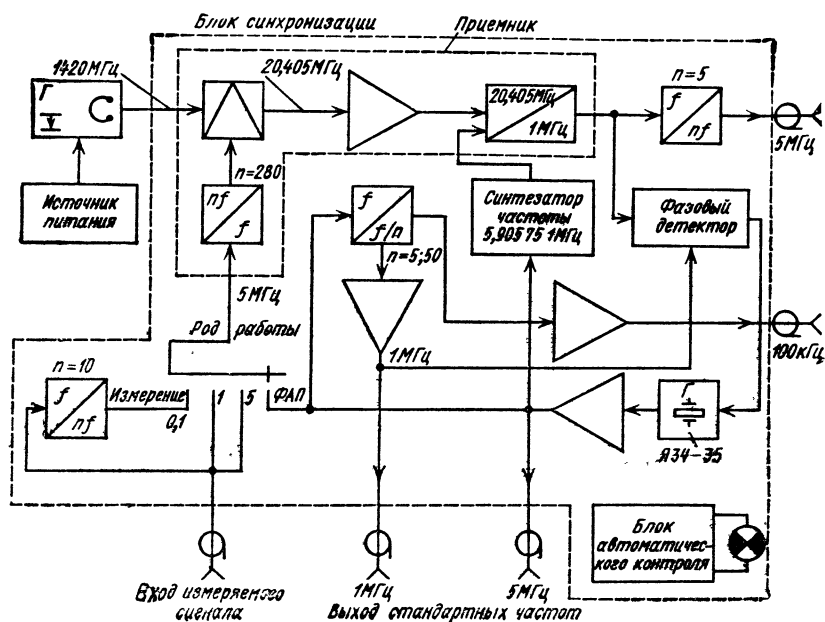


Рис. 1.39

и кратковременной нестабильности частоты внешнего сигнала 5. 1, 0,1 МГц. Погрешность измерения нестабильности частоты составляет $\pm 7 \cdot 10^{-11}$ за 1 с, $\pm 7 \cdot 10^{-12}$ за 10 с, $\pm 7 \cdot 10^{-13}$ за 100 с. Стандарт частоты используется в качестве эталона копии и рабочего эталона частоты в научных и промышленных центрах

страны, в составе систем, где требуется высокостабильный особо точный и спектрально чистый синусоидальный сигнал, а также в качестве образцовых средств измерения при проведении наиболее точных частотных, фазовых и временных измерений.

Прибор полностью заменяет стандарт частоты Ч1-44.

Стандарт частоты и времени цезиевый Ч1-47

Прибор (рис. 1.40) предназначен для воспроизведения и хранения единицы времени — секунды и единицы частоты — герца с метрологической точностью, для формирования и выдачи соответствующих сигналов синусоидальной формы, а также последовательности импульсов (шкала равномерного атомного времени).

Основные технические характеристики

Номинальные значения частот выходных сигналов 0,1; 1 и 5 МГц

Напряжение выходных сигналов
1 В эфф на нагрузке 50 Ом

Погрешность среднего действительного значения частоты $5 \cdot 10^{-11}$

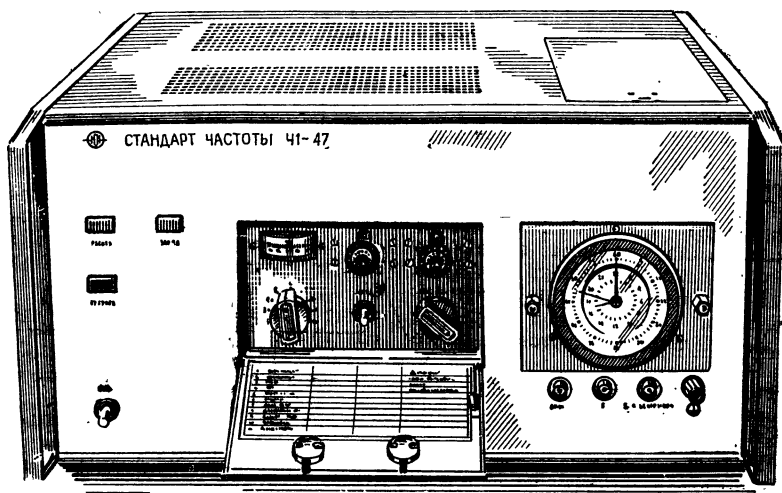


Рис. 1.40

Среднеквадратическая относительная погрешность воспроизведения действительного значения частоты от включения к включению в течение срока службы прибора $\pm 2 \cdot 10^{-11}$

Среднеквадратическая относительная случайная вариация частоты:
за 1 с не более $\pm 5 \cdot 10^{-11}$,
за 100 с не более $\pm 2 \cdot 10^{-11}$,
за 24 ч не более $\pm 2 \cdot 10^{-11}$

Выходные сигналы времени

Последовательность импульсов с частотой следования 1 Гц

Последовательность импульсов с частотой следования 1 Гц, задерживаемая в пределах от 0 до 9999999,9 мкс относительно импульсов 1-й шкалы с шагом в 1 мкс.

Выходные импульсы

Полярность положительная
Длительность импульса 13—17 мкс
Длительность фронта не более 0,5 мкс

Амплитуда не менее 3 В на нагрузку 300 Ом, емкость 300 пф

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением $220(115) \text{ В} \pm 10\%$; частотой $400 \pm \frac{1}{12}$ Гц,

напряжением $220(115) \text{ В} \pm 5\%$ и от источника постоянного тока напряжением $+27 \pm 3 \text{ В}$

Потребляемая мощность от сети переменного тока 75 ВА, от источника постоянного тока 40 Вт

Условия эксплуатации: температура от $+5$ до $+40^\circ\text{C}$, относительная влажность до 95% при $+30^\circ\text{C}$

Габаритные размеры
 $240 \times 480 \times 475 \text{ мм}$

Масса 36 кг

В основу работы прибора (рис. 1.41) положен принцип автоматической подстройки частоты кварцевого генератора по частоте линии сверхтонкого перехода атомов цезия Cs^{133} , обладающего долговременной стабильностью, равной нескольким единицам одиннадцатого знака. Таким образом частота кварцевого генератора соответствует с высокой точностью частоте этого перехода.

Структурная схема стандарта наряду со схемой синхронизации включает в себя часовой блок, в котором формируются сигналы времени и производится индикация текущего времени. Частота входного сигнала часового блока 1 МГц обеспечивает дискретность задержки управляемой шкалы времени 1 мкс и уменьшение

погрешности, вносимой входным усилителем.

Задержка последовательности импульсов формируется цифровым методом.

Высокая надежность хранения времени достигнута применением внутренней аккумуляторной батареи, подключаемой в буферном режиме. Резервирование по питанию свыше 30 мин можно увеличить, включив в буферном режиме внешнюю батарею +27 В. Дополнительная погрешность в хранении времени при переходе с одного питания на другое не более 0,01 мкс.

Стандарт частоты и времени обеспечивает свои характеристики после 2-часового прогрева. Для удобства эксплуатации в приборе применена полуавтоматическая система контроля

и обнаружения неисправности. Эта система обеспечивает световую сигнализацию при недопустимо большой ошибке регулирования системы автоподстройки, при выходе из строя цезиевой атомно-лучевой трубки, элементов тракта системы автоподстройки, при переходе на работу от внутренних аккумуляторов. Отыскание неисправного узла осуществляется с помощью переключателя КОНТРОЛЬ и встроенного гальванометра. Предусмотрена работа прибора в режиме с выключенной системой автоподстройки; параметры частоты выходного сигнала определяются в этом случае параметрами кварцевого генератора.

Задержка секундных импульсов в пределах 1 с устанавливается с помощью наборного переключателя с

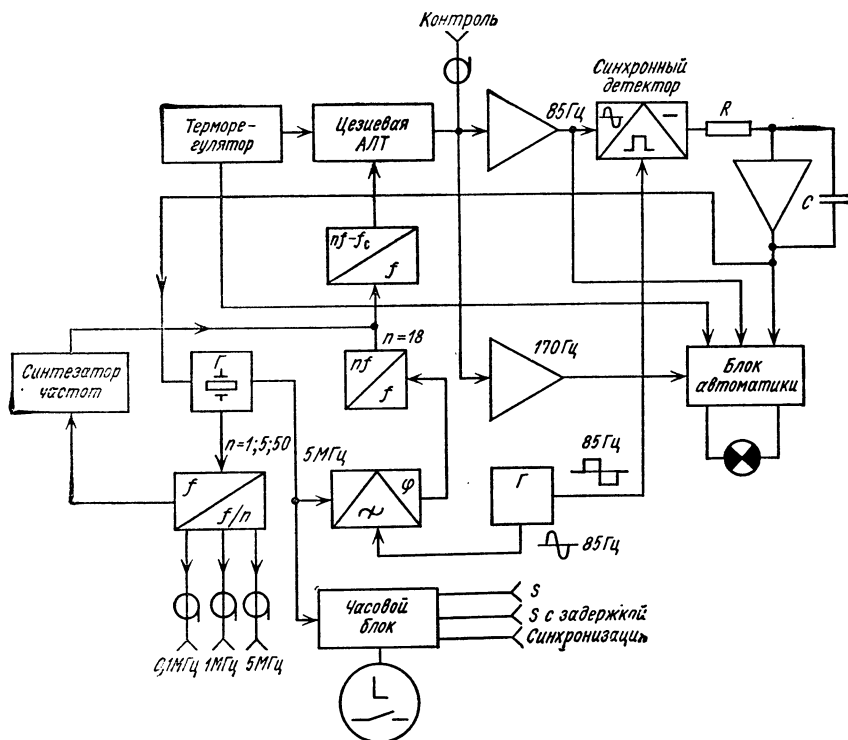


Рис. 1.41

минимальным шагом 1 мкс. Установка шкалы относительно эталонной может быть произведена и автоматически. После снятия внешнего сигнала разность между шкалами менее ± 1 мкс. В приборе применена блочная конструкция, обеспечивающая легкий доступ и быструю смену вышедшего из строя блока. Стандарт времени и частоты выполнен на полупроводниковых приборах и интегральных схемах.

Стандарт Ч1-47 используется в качестве эталона-копии и рабочего эта-

лона времени и частоты в научных и промышленных центрах, в качестве образцового средства измерения при калибровке и поверке квантовых и кварцевых генераторов и часов, хранителей времени и частоты, систем измерения времени, применяется как опорный генератор в системах навигации, радиосвязи, измерительных системах.

По своим техническим характеристикам прибор полностью заменяет стандарт Ч1-42.

Стандарт времени и частоты Ч1-48 и стандарт частоты рубидиевый Ч1-50

Стандарты времени и частоты предназначены для воспроизведения и хранения единицы времени — секунды и единицы частоты — герца, формирования и выдачи сигналов синусоидальной формы с частотами 0,1; 1 и 5 МГц (Ч2-50) (рис. 1.42)

средств измерений при калибровке и поверке кварцевых генераторов и часов, синхронизаторов; применяются в качестве опорного задающего генератора в измерительных системах и комплексах при высокоточных частотно-временных измерениях.

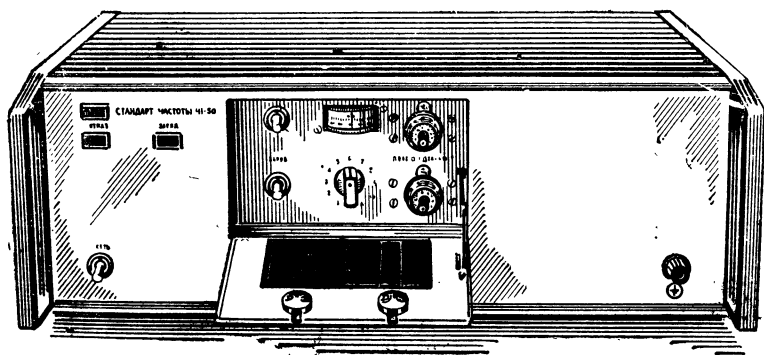


Рис. 1.42

и шкалы времени — последовательности импульсов с частотой следования 1 Гц (Ч1-48) (рис. 1.43).

Стандарты частоты и времени Ч1-48 и Ч1-50 используются в качестве хранителей частоты и шкалы атомного времени, образцовых и рабочих

Основные технические характеристики

Номинальные значения частот выходных сигналов 0,1; 1 и 5 МГц

Напряжение выходных сигналов 1 В эфф на нагрузке 50 Ом

Погрешность частоты не более $\pm 1 \cdot 10^{-10}$

Систематическое отклонение частоты от номинального значения за 30 суток не более $\pm 3 \cdot 10^{-11}$

Напряжение 3 В на нагрузку 300 Ом, емкость 300 пФ

Время задержки импульсов 0—999999,9 мкс

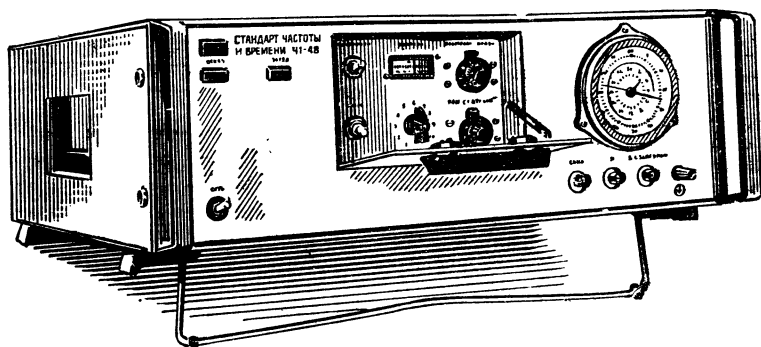


Рис. 1.43

Среднеквадратичная относительная случайная вариация частоты:

за 1 с не более $\pm 2 \cdot 10^{-11}$,

за 10 с не более $\pm 2 \cdot 10^{-11}$,

за 24 ч не более $\pm 5 \cdot 10^{-12}$

Пределы корректировки значения частоты $\pm 1,9 \cdot 10^{-9}$

Погрешность отсчета установленно-го по лимбу значения частоты $\pm 5\%$

Дискретность введения задержки 1 мкс

Длительность импульсов 13—17 мкс

Длительность фронта импульсов 0,5 мкс

Структурная схема стандарта частоты Ч1-50 полностью аналогична структурной схеме стандарта Ч1-48 (рис. 1.44), только в ней отсутствует часовой блок.

В основу работы приборов положен принцип автоматической подстройки частоты кварцевого генератора по частоте линии сверхтонкого перехода атомов рубидия Rb^{87} , обладающего долговременной стабильностью, равной нескольким единицам одиннадцатого знака.

Высокие метрологические характеристики стандарта связаны с применением кольца частотной автоматической подстройки с интегрирующим усилителем. Коэффициент регулирования системы составляет 10^5 — 10^6 . В схеме стандарта практически исключена погрешность из-за неточности настройки частоты кварцевого генератора на частоту атомного перехода.

Линейная зависимость частоты атомного перехода от напряженности магнитного поля, обеспечивается в объеме ячейки поглощения специальной обмоткой, которая питается от

Параметр	Ч1-48	Ч1-50
Мощность, потребляемая		
от сети переменного тока, ВА	46	40
от источника постоянного тока, Вт	24	21
Масса, кг	25	21

Условия эксплуатации: температура от 0 до $+50^\circ\text{C}$, относительная влажность до 95% при $+30^\circ\text{C}$

Габаритные размеры

480×160×475

Прибор Ч1-48 выдает временные сигналы со следующими параметрами:

Частота следования импульсов 1 Гц

регулируемого источника тока с нелинейным законом изменения тока. Стандарты частоты и времени обеспечивают все свои характеристики после 2-часового прогрева. Установка частоты стандартов при их проверке производится с помощью лимба ПОЛЕ С. Цена большого деления лимба $1 \cdot 10^{-11}$. Для удобства эксплуатации в приборах применена полуавтоматическая система контроля и обнаружения неисправности. Эта система обеспечивает световую сигнализацию при наличии недопустимо большой ошибки регулирования системы автоподстройки, при выходе из строя системы термостатирования, рубидиевого дискриминатора, элементов тракта системы автоподстройки, при переходе на работу от внутренних аккумуляторов. Отыскание неисправного узла осуществляется с помощью переключателя КОНТРОЛЬ и встроенного гальванометра. При отключе-

нии сети переменного тока прибор автоматически переходит на работу от внешней сети постоянного тока (если она включена) или на внутренние аккумуляторы. Заряд внутренних аккумуляторов осуществляется с помощью встроенного зарядного устройства включением тумблера ЗАРЯД при работе прибора от сети переменного тока.

В приборах применена блочная конструкция, обеспечивающая легкий доступ и быструю смену вышедшего из строя блока. Конструкция блоков унифицирована. Функциональные узлы стандарта Ч1-48, за исключением часового блока, взаимозаменяемы аналогичными узлами стандарта Ч1-50. Предусмотрена работа приборов с выключенной системой автоподстройки, характеристики определяются в этом случае параметрами кварцевого генератора.

Величины задержки секундных им-

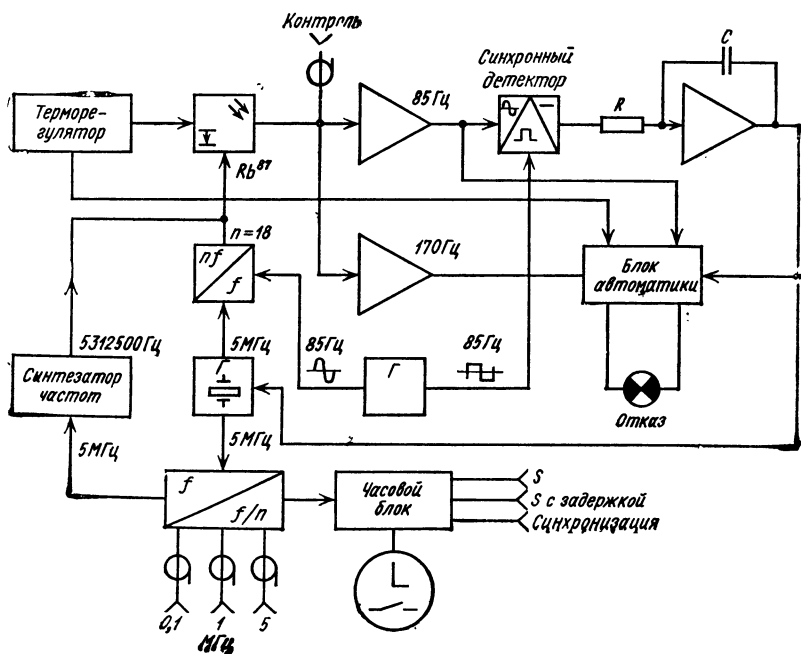


Рис. 1.44

пульсов в пределах 1 с устанавливаются с помощью наборного переключателя с минимальным дискретным шагом 1 мкс.

В приборе Ч1-48 предусмотрен режим синхронизации формируемой стандартной шкалы времени по эталон-

Для упрощения ремонта и обслуживания приборов в них используется блочная конструкция с двусторонним расположением блоков на шасси. Стандарты выполнены на полупроводниковых приборах и интегральных микросхемах.

Таблица 1.4

Параметр	Ч1-43	Ч1-44
Номинальные значения частот выходных сигналов, МГц	0,1; 1; 5	0,1; 1; 5
Напряжение выходных сигналов, В эфф, на нагрузке 50 Ом	1	1
Погрешность среднего действительного значения частоты не более	$\pm 5 \cdot 10^{-9}$	—
Воспроизводимость частоты от включения к включению	—	$\pm 5 \cdot 10^{-13}$
Среднеквадратическая относительная случайная вариация частоты не более:		
за 1 с,	$\pm 1 \cdot 10^{-10}$	$\pm 5 \cdot 10^{-12}$
за 10 с,	$\pm 5 \cdot 10^{-11}$	$\pm 2 \cdot 10^{-12}$
за 100 с,	—	$\pm 5 \cdot 10^{-13}$
за 24 ч	$\pm 5 \cdot 10^{-11}$	$\pm 5 \cdot 10^{-13}$
Потребляемая мощность от сети переменного тока, ВА	80	1900
Условия эксплуатации:		
температура	от +10 до +35° С	от +20 до +30° С
относительная влажность	до 80% при +20±5° С	до 80% при 20±5° С
Габаритные размеры, мм	480 × 240 × 475	570 × 572 × 1900
Масса, кг	35	1000

ной шкале. После отключения внешнего синхронизирующего сигнала разность между шкалами времени будет не более ± 1 мкс.

Часовой блок в стандарте Ч1-48 полностью аналогичен часовому блоку в стандарте Ч1-47.

Они полностью заменяют стандарт частоты рубидиевый Ч1-43.

Для сравнения с рассмотренными приборами в табл. 1.4 приведены основные технические характеристики стандартов частоты рубидиевого Ч1-43 и водородного Ч1-44.

1.8. Классификация аппаратуры синтеза сигналов времени

Аппаратура синтеза сигналов времени формирует последовательность импульсных сигналов с периодом следования, кратным единицам измерения времени, обеспечивает отсчет времени и измерение интервалов времени в цифровой форме, выдает значения времени в двоично-десятичном параллельном и широтно-импульсном последовательном кодах.

Современные синхронметры являются многофункциональными приборами для временных измерений. Они используются для высокоточных определений времени совершения событий, измерений и заданий интервалов времени, синхронизации и программирования во времени работы измерительных приборов и систем. Аппаратура синтеза сигналов времени выполнена на цифровых интегральных схемах и полупроводниковых приборах. Она широко используется при создании хранителей времени, построении навигационных и радиоастрономических систем, систем связи с временным уплотнением каналов. Высокая точность воспроизводимой синхронметрами шкалы времени позволила значительно снизить погрешность и увеличить разрешающую способность геодезических, физических и астрономических измерений.

В дальнейшем номенклатура аппаратуры синтеза сигналов времени бу-

дет пополняться приборами, формирующими, регистрирующими и расшифровывающими последовательный широтно-импульсный временной код, а также транслирующими информацию о текущем времени по кабелю.

Время как физическая величина имеет два аспекта — интервал времени и эпоха. Единица измерения интервалов времени — секунда, до 1967 г. определялась как $1/86400$ длительности средних солнечных суток. В 1967 г. XIII Генеральная конференция мер и весов (ГКМВ) ввела атомное определение секунды, согласно которому секунда составляет $9.192.631.770$ периодов излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия — 133.

Эпоха определяет начальный момент, от которого осуществляется отсчет времени. Измерение времени производится в выбранной шкале, в качестве которой принята непрерывная последовательность интервалов времени длительностью 1 с, отсчитываемых от начального момента.

Эталонная шкала времени воспроизводится и хранится Государственным эталоном времени и частоты. Передачи эталонной шкалы потребителям осуществляются по радиоканалу в КВ, ДВ и СДВ диапазонах.

Шкалы времени

В процессе исторического развития сформировались шкалы времени (ШВ) TU , $TU1$, $TU2$, основанные на наблюдении кажущегося движения Солнца (звезд) по небосводу. Шкала всемирного времени TU (Universal Time) получается в результате непосредственных астрономических наблюдений звезд. Шкала времени TU неравномерна, во-первых, вследствие нутаций земной оси, во-вторых, вследствие сезонных изменений скорости

вращения Земли, которая весной вращается быстрее, а осенью медленнее. Шкала $TU1$ — это время TU с поправками на изменение положения полюса, $TU2$ — это «сглаженное» время $TU1$ с поправками на сезонные изменения скорости вращения Земли. Однако $TU2$ также неравномерна в связи с непредсказуемыми длительными изменениями скорости вращения Земли. В настоящее время наиболее распространена шкала всемирного коор-

динированного времени *TUC*, базирующаяся на атомном определении секунды и являющаяся самой равномерной из всех шкал. *TUC* принята XXIV ГКМВ в 1971 г. и определяется следующим образом: «Международное атомное время — это координата временной ориентировки, установленная Международным бюро времени на основе показаний атомных часов, функционирующих в различных уч-

реждениях в соответствии с определением секунды, единицы времени Международной системы единиц». Хотя в настоящее время атомная ШВ используется в подавляющем большинстве случаев, другие шкалы также не утратили окончательно своего значения. Например, при проведении астрономических исследований часто используют шкалу *TU2*.

Синхронизация шкал времени

При построении современных навигационных, радиоастрономических комплексов, систем связи с уплотнением каналов, а также для решения ряда других научно-технических задач требуется иметь в различных пунктах, находящихся на расстоянии до десятков тысяч километров, часы, показания которых в течение длитель-

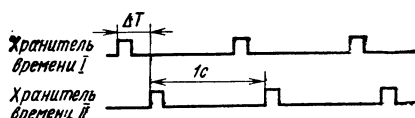


Рис. 1.45

ного времени совпадают с определенной точностью (например, в пределах 10 мкс), т. е. существует задача синхронизации ШВ, формируемых в различных пунктах. Для синхронизации ШВ, формируемых двумя часами, необходимо определить рассогласование шкал (их взаимный сдвиг во времени ΔT , см. рис. 1.45) и скорректировать показания ведомых часов на эту величину.

Сравнение ШВ часов, находящихся рядом, может быть выполнено с высокой точностью (100, 10 или 1 нс) с помощью цифровых измерителей интервалов времени. Для сравнения ШВ часов, удаленных друг от друга на значительные расстояния, исполь-

Таблица 1.5

Канал связи	Погрешность, мкс	Дальность, км
КВ	100	10 000
ДВ	0,2—100*	2000
СДВ	5—1000*	10 000
СВЧ		
с использованием ИСЗ в качестве ретранслятора,	0,1	$n \times 10\,000$
с использованием отражений от метеорных следов,	0,3	2100
с использованием сети телевизионного вещания	0,2—0,3	$n \times 1000$
Транспортируемые часы	,1—10*	10 000

Конкретные значения погрешности зависят от используемой аппаратуры.

зуется один из методов передачи эталонной шкалы потребителю. Наиболее часто эталонная шкала передается по радиоканалу в КВ, ДВ и СДВ диапазонах, по радиоканалу в СВЧ диапазоне с использованием искусственных спутников Земли или отражения радиоволн от метеорных следов, по каналам телевизионного вещания; используется также метод транспортируемых часов.

В табл. 1.5 приведены точностные характеристики некоторых методов синхронизации ШВ.

Результаты теоретического анализа и экспериментальных исследований показали, что расхождение показаний двух любых реальных часов с течением времени неограниченно возрастает; поэтому для поддержания погрешности синхронизации в заданных пределах сравнение и коррекцию ШВ необходимо периодически повторять.

Электронные часы — синхронометры

Основой аппаратуры синтеза сигналов времени являются электронные часы, состоящие из источника строго периодических электрических колебаний, устройства их счета и блока формирования шкалы времени и сигналов, несущих информацию об интервалах времени.

Источником электрических колебаний является высокостабильный кварцевый генератор (КГ) или квантвомеханический стандарт частоты (КМСЧ): рубидиевый, цезиевый или водородный. Устройство счета из сигнала опорного генератора формирует шкалу времени — последовательность импульсных сигналов с периодом следования 1 с и производит их счет в секундах, минутах, часах с последующим высвечиванием текущего времени на цифровом табло. Одновременно со шкалой времени в устройстве счета формируются последовательности импульсов с частотами следования 100, 10, 1 кГц, 100, 10, 1, 1/10, 1/60, 1/3600 Гц и временной параллельной двоично-десятичной код 8—4—2—1 значений текущего времени в часах, минутах, секундах, миллисекундах и микросекундах.

Основной характеристикой электронных часов является погрешность хранения шкалы времени δT за сутки, которая определяется изменением сдвига ΔT (рис. 1.45) исследуемой шкалы времени относительно эталонной: $\delta T = \Delta T_1 - \Delta T_2$, где ΔT_1 и ΔT_2 — сдвиг шкал в начале и конце суток.

Погрешность δT определяется в основном нестабильностью частоты опорного генератора. Среднеквадратические значения погрешности для современных КГ и КМСЧ приведены в табл. 1.6.

Таблица 1.6

Тип генератора	δT , ср. кв. мкс/сут.
Рубидиевый КМСЧ Ч1-50	1
Цезиевый КМСЧ Ч1-47	0,1
Водородный КМСЧ Ч1-46	0,01

В величину погрешности δT вносит некоторый вклад канал формирования сигналов времени. Погрешность его обусловлена нестабильностью параметров радиоконтакт, питающих напряжений, колебаний окружающей температуры и является важной характеристикой синхронометров. Для современных синхронометров эта величина составляет от единиц до нескольких десятков наносекунд.

Одновременно с основной ШВ-последовательностью импульсов с периодом следования 1 с — аппаратура формирует вспомогательную ШВ с изменяемой временной задержкой относительно основной ШВ в пределах от 1 мкс до 1 с с шагом в 0,1 мкс. Задержка осуществляется цифровым методом. Вспомогательная ШВ ис-

пользуется при синхронизации формируемой ШВ с эталонной.

В синхрометрах, предназначенных для трансляции информации о текущем времени на расстояния более 200 м, блок формирования дополняется развертывающим устройством, преобразующим параллельный код в по-

иметь и форму радиосигнала с ШИМ.

Программирующий синхрометр формирует сигнал для запрограммированного во времени включения измерительных приборов. Сигнал запуска появляется в момент совпадения значения текущего времени со значением, введенным через кодовый пере-

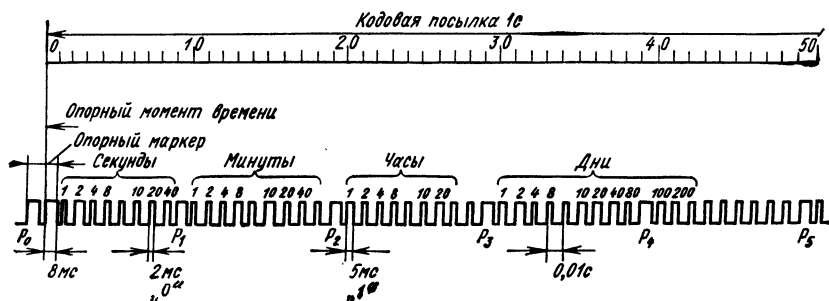


Рис. 1.46

следовательный. Последовательный код имеет длительность кодовой посылки 1 с, частоту следования импульсов в посылке 100 Гц. Каждая кодовая посылка несет информацию о значении текущего времени. Кодовая посылка состоит из серии 100 импульсов (рис. 1.46), имеющих широтно-импульсную модуляцию (ШИМ). Логической 1 соответствуют импульсы длительностью 5 мс, логическому 0 — 2 мс. Последовательный код может

ключатель в компаратор кодов. В основе работы компаратора кодов лежит сравнение одноименных битов информации двух чисел в двоичном коде. Сигнал запуска является одиночным импульсом, который, кроме управления внешними приборами, включает реле времени синхрометра, в результате чего на выходе прибора появляется последовательность импульсов ОПРОС с запрограммированной частотой следования.

Преобразователи шкал времени

Как уже отмечалось, в подавляющем большинстве случаев используется атомная шкала времени *TUC*. Шкалы *TU1* и *TU2* характеризуются тем, что длительность секунды в этих шкалах является величиной непосто-

янной, отличающейся от атомной секунды на величину от единицы до нескольких десятков наносекунд. Синтез шкал *TU1* и *TU2* осуществляется по структурной схеме, показанной на рис. 1.47. Преобразователь шкал времени представляет собой электронный фазовращатель, производящий малые смещения среднего значения частоты КМСЧ относительно номинального значения, что соответствует изменению размера секунды, формируемой синхрометром. Для малых значений $\Delta f/f_0$ справедливо равенство

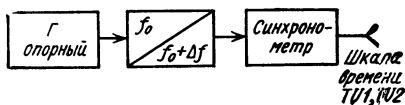


Рис. 1.47

$\Delta f/f_0 = -\Delta T/T_0$, поясняющее принцип преобразования ШВ. Основными характеристиками преобразователя шкал времени являются диапазон и

дискретность вводимых расстроек частоты, которые должны удовлетворять требованиям синтеза шкал $TU1$, $TU2$.

Синтезаторы и измерители интервалов времени

Синтезаторы и измерители интервалов времени предназначены для метрологического обеспечения аппаратуры синтеза сигналов времени. Синтезаторы интервалов времени формируют импульсные сигналы калиброванной длительности в диапазоне 0,3—10 с с шагом 0,1 мкс.

Измерение интервалов времени осуществляется в диапазоне от 10 нс до 10 с с разрешением в 1 нс.

Погрешность формирования калиброванных длительностей и измерение интервалов времени определяется в основном нестабильностью задающего стандарта частоты.

1.9. Аппаратура синтеза сигналов времени

В настоящее время группа объединяет 6 приборов, три из которых предназначены для общего применения, а три — для комплектации систем хранителей времени и частоты.

Приборы синтеза сигналов времени используются при временных измерениях для формирования шкал времени (TAC , $TA1$, TU , $TU1$, $TU2$, TUC , $DTU1$, TE); при синхронизации измерений текущего времени в разнесенных по территории страны пунктах для нужд навигации, радиосвязи, при топографических, геодезических, геодинамических и траекторных измерениях, в радиоастрономии; для измерений интервалов времени с привязкой к текущему времени при лазерной локации наземных и космических объектов.

Синхронометры формируют шкалы времени в виде синхронных последовательностей импульсов 100, 10, 1 кГц, 100, 10, 1, 1/10, 1/60, 1/300, 1/3600, 1/86400 Гц; в виде параллельного 12-разрядного двоично-десятичного кода 8—4—2—1, несущего информацию о часах, минутах, секундах, миллисекундах и микросекундах; в виде последовательного двоично-десятичного кода с ШИМ, несущего информацию о текущем времени с тактовой

длительностью кодовой посылки 1 с; в цифровом виде на индикаторном табло с разрешением в 1 с.

Погрешность формирования шкал времени с внутренним опорным кварцевым генератором ± 250 мкс, с использованием внешнего квантовомеханического стандарта частоты не более ± 1 мкс за сутки. Фазовая нестабильность сигналов времени менее 0,1 мкс.

Разрешающая способность коррекции шкал времени $\pm 0,1$ мкс в пределах 0—24 ч.

Аппаратура синтезирует сигналы образцовых интервалов времени в диапазоне 0,3 мкс — 10 с с шагом в 0,1 мкс и измеряет интервалы времени от 10 нс до 10 с с разрешением в 1 нс.

Аппаратура синтеза сигналов времени имеет единое конструктивное исполнение, унифицированную счетную часть, опорные кварцевые генераторы; в приборах предусмотрены программное управление, возможность резервирования.

Все приборы можно использовать в комплекте с приемниками образцовых частот и сигналов времени, а также встраивать в измерительные системы и установки.

Синхрометр кварцевый 47-15

Синхрометр (рис. 1.48) предназначен для работы в составе храни-
телей времени и служит для форми-
рования и выдачи информации о те-
кущем времени в виде последователь-
ности импульсов, параллельного кода
текущего времени и в визуальной
форме.

Параметры импульсов

Полярность положительная
Длительность 10—20 мкс
Амплитуда 3 В
Выходной импеданс каналов шкал
времени 300 Ом, 300 пФ

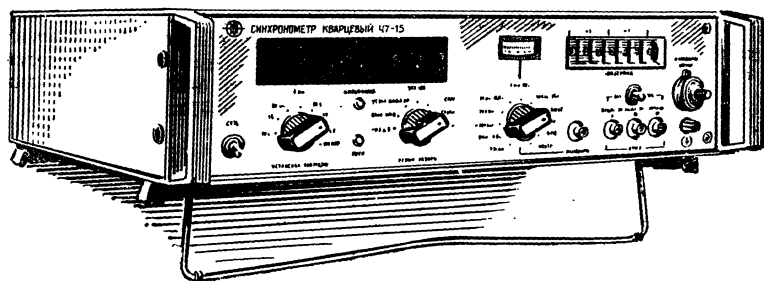


Рис. 1.48

Основные технические характеристики

Режим синхронизации:
от внутреннего кварцевого генера-
тора частотой 5 МГц.

от внешнего источника опорного
сигнала с частотой 5, 1 или 0,1 МГц,
напряжением не менее 0,5 В.

Входное сопротивление канала
опорного сигнала 200 Ом.

Выходные сигналы:
синусоидальные частотой 5; 1 и
0,1 МГц, напряжением не менее 0,5 В,
 $R_n = 200$ Ом;

импульсные частотой 100; 10; 1 кГц;
100; 10; 1; 0,1; 1/60 Гц, напряжением
не менее 3 В; $R_n = 300$ Ом, $C_n =$
 $= 300$ пФ.

Выходные сигналы времени:
последовательность импульсов с пе-
риодом следования 1 с (основная
шкала времени),

последовательность импульсов с
периодом следования 1 или 0,1 с, име-
ющая задержку относительно первой
в пределах 0—999999,9 мкс с точно-
стью 0,1 мкс (вспомогательная шкала
времени)

Код текущего времени:

параллельный двоично-десятич-
ный 8—4—2—1

12 десятичных разрядов от де-
сятков часов до единиц микро-
секунд.

Состоянию логической 1 соответ-
ствует потенциал 3,5—4,5 В, логическо-
го 0 соответствует потенциал 0—0,5 В.

Фазовая нестабильность канала
формирования сигналов времени не
более 0,1 мкс

Цифровая индикация текущего вре-
мени в часах, минутах, секундах

Питание от сети переменного тока
частотой 50±0,5 Гц, напряжением
220±22 В; частотой 400±2½ Гц, напря-
жением 220(115) В±5%, а также от
источника постоянного тока напряже-
нием +27±3 В

Потребляемая мощность 35 ВА (от
сети переменного тока), 18 Вт (от
сети постоянного тока)

Условия эксплуатации: температура
от +5 до +40°C; относительная
влажность до 95% при +30°C

Габаритные размеры
490×135×475 мм

Масса 15 кг

В приборе (рис. 1.49) предусмотрена возможность коррекции выдаваемых сигналов времени в пределах 0—24 ч с точностью ± 1 мкс по заданному значению поправки. Для увеличения достоверности выдаваемой прибором информации перед делителем частоты 100 кГц — 1 Гц помещено устройство пуска. При кратковременном отключении питающего напряжения входной сигнал на делитель не поступает и часы останавливаются. Для повторного пуска часов предусмотрена специальная кнопка.

Для сличения формируемой прибором ШВ с эталонной, в приборе формируется вспомогательная ШВ в виде импульсов с периодом 1 с, которая может быть задержана в пределах 0—999999,9 мкс с точностью 0,1 мкс относительно основной ШВ.

Прибор имеет встроенную аккумуляторную батарею, переход на питание от которой осуществляется авто-

матически при снятии напряжения сети. Сбои ШВ при переходе на аккумуляторное питание и обратно не происходит.

Синхрометр Ч7-15 может работать как автономный хранитель времени от собственного кварцевого генератора с погрешностью порядка 250 мкс за сутки. При работе от внешнего источника опорного сигнала погрешность будет зависеть от характеристик источника. Например, при запуске синхрометра сигналом от рубидиевого стандарта частоты Ч1-50 можно получить погрешность хранения времени порядка 1 мкс за сутки, при запуске от водородного стандарта Ч1-46 — порядка 0,01 мкс за сутки.

Прецизионные хранители времени, в состав которых входит синхрометр кварцевый Ч7-15, могут использоваться для решения ряда научно-технических задач: в Государственной службе времени и частоты при созда-

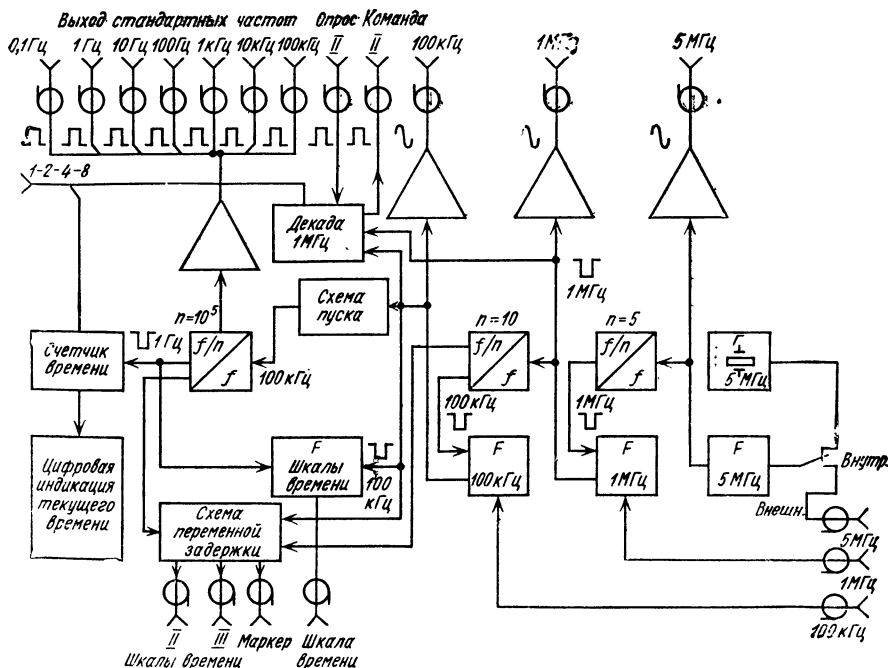


Рис. 1.49

нии первичных и вторичных эталонов времени, в системах навигации при определении местоположения объектов, в астрономических исследованиях с помощью радиоинтерферометров с большой базой. Для решения этих задач требуются синхронизированные шкалы времени в территори-

пазоне или с помощью приемника Ч7-9 в СДВ диапазоне) и наблюдение их на экране осциллографа (например, С1-48Б, рис 1.50). Осциллограф должен работать в режиме внешней синхронизации, а развертка должна запускаться импульсом III шкалы времени с синхронизатора. Меняя величину задержки III шкалы относительно основной и увеличивая скорость развертки осциллографа, можно добиться совмещения фронта радиоимпульса с началом развертки, при этом установленное на переключателе ЗАДЕРЖКА число соответствует задержке принимаемых сигналов времени относительно местной шкалы времени.

Выдаваемый синхронизатором параллельный двоично-десятичный код текущего времени можно использовать для регистрации на внешнем регистрирующем устройстве (цифропечатающей машине, перфораторе) с точностью до 1 мкс значений текущего времени, соответствующих моментам совершения каких-либо событий.



Рис. 1.50

ально разнесенных пунктах. Наиболее распространенным способом сравнения формируемой ШВ с эталонной является радиоприем сигналов эталонного времени (например, с помощью приемника Ч7-13 в КВ диа-

Синхронизатор программируемый Ч7-14

Синхронизатор (рис. 1.51) предназначен для отсчета и визуальной индикации текущего времени, для управления работой переключающих и измерительных приборов, программирования измерительных систем в реальном масштабе времени.

Основные технические характеристики

Режим синхронизации:
от внутреннего кварцевого генератора 5 МГц,
от внешнего источника, синусо-

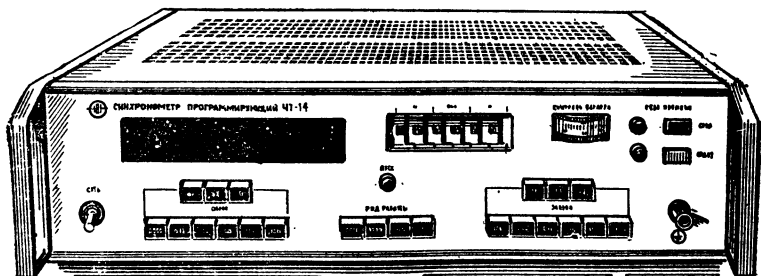


Рис. 1.51

идального сигнала с частотой 5 и 1 МГц, импульсного сигнала с частотой следования 1 Гц

Напряжение синусоидального сигнала 0,5 В

Входное сопротивление канала синусоидального сигнала 50 Ом

Параметры импульсного сигнала: полярность отрицательная, амплитуда 2,5—5 В

Входное сопротивление 200 Ом

Выходные сигналы:

синусоидальные с частотой 5 и 1 МГц,

последовательность импульсов с частотой следования 100, 10, 1 кГц, 100; 10; 1; 0,1; 1/60; 1/600 и 1/3600 Гц,

последовательность импульсов с периодом следования T_1K , где $T_1=10$ с, 1 мин, 10 мин, 1 ч, 10 ч, $K=1, 2, 5$

последовательность импульсов с периодом следования T_2K , где $T_2=0,01$; 0,1; 1 с; 1 мин; $K=1, 2, 5$

код текущего времени — параллельный двоично-десятичный 8—4—2—1, 6 десятичных разрядов от десятков часов до единиц секунд. Состоянию логической 1 соответствует потенциал 2,5—4 В, логическому 0 — потенциал 0—0,6 В

Напряжение синусоидального сигнала 0,5 В

Выходное сопротивление канала синусоидального сигнала 200 Ом

Амплитуда импульсов 2,5 В

Выходное сопротивление импульсных каналов 2 кОм

Цифровая индикация текущего времени в часах, минутах, секундах

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В; частотой $400 \pm \frac{2}{12}$ Гц, напряжением $220(115) \text{ В} \pm 5\%$; от источника постоянного тока напряжением $+27 \pm 3$ В

Потребляемая мощность 55 ВА (сеть переменного тока), 30 Вт (сеть постоянного тока)

Условия эксплуатации: температура от 5 до $+40^\circ\text{C}$; относительная влажность до 95% при $+30^\circ\text{C}$

Габаритные размеры

$490 \times 135 \times 475$ мм

Масса 17 кг

Прибор (рис. 1 52) имеет два независимых канала формирования сиг-

налов времени. В первом канале осуществляется отсчет в реальном масштабе времени. Входная синхронизирующая частота 5 или 1 МГц делится до 1 Гц декадными триггерными делителями частоты. Отсчет времени в секундах, минутах, часах также осуществляется триггерными делителями с основаниями счета 10 и 6. Емкость счетчика времени может быть установлена 24 или 100 ч. Перепады напряжений с триггеров счетчика времени (СВ) через систему дешифраторов и ключей управляют цифровой индикацией текущего времени, а также в виде параллельного двоично-десятичного кода выдаются на выходные разъемы прибора. Прибор может работать от внутреннего унифицированного кварцевого генератора Я34-35 с номинальным значением частоты 5 МГц.

Реле времени представляет собой второй канал отсчета времени, который выдает сигналы ЗАПУСК (с периодом следования T_1K) и ОПРОС (с периодом следования T_2K) для временного программирования измерительных систем. Реле времени состоит из цепочки декадных делителей частоты и умножителей периодов выдаваемых сигналов (на 2 и на 5).

Запуск реле времени может быть осуществлен четырьмя способами:

- 1) вручную, нажатием кнопки СТАРТ,
- 2) дистанционно, подачей внешнего импульсного сигнала,
- 3) полуавтоматически, при совпадении текущего времени с числом, установленным на кодовом переключателе (оповещателе), который расположен на передней панели,
- 4) автоматически, при совпадении параллельного кода текущего времени с кодом числа, подаваемым с внешнего устройства через разъем на задней панели прибора.

После включения реле времени начинается выдача сигналов ЗАПУСК и ОПРОС. Периоды следования этих сигналов можно выбрать либо вручную, с помощью кнопочных переключателей, расположенных на передней панели прибора, либо дистанционно, с помощью сигналов, поступающих с

внешнего устройства через разъем
ДИСТ. УПРАВЛЕНИЕ.

Остановить реле времени можно либо вручную кнопкой **СТОП**, либо внешним импульсным сигналом

При работе в автоматизированных системах сбора и обработки данных синхронизатор 47-14 управляет работой измерительного коммутатора, определяя начало сканирования (сигнал ЗАПУСК) и продолжительность ком-

мутации отдельных измерительных каналов (сигнал ОПРОС) При регистрации одновременно с результатами измерения может печататься значение текущего времени, снимаемое в виде параллельного кода с разбега на задней панели прибора Дистанционное управление синхронизмом в измерительных системах осуществляется программирующим устройством 301.

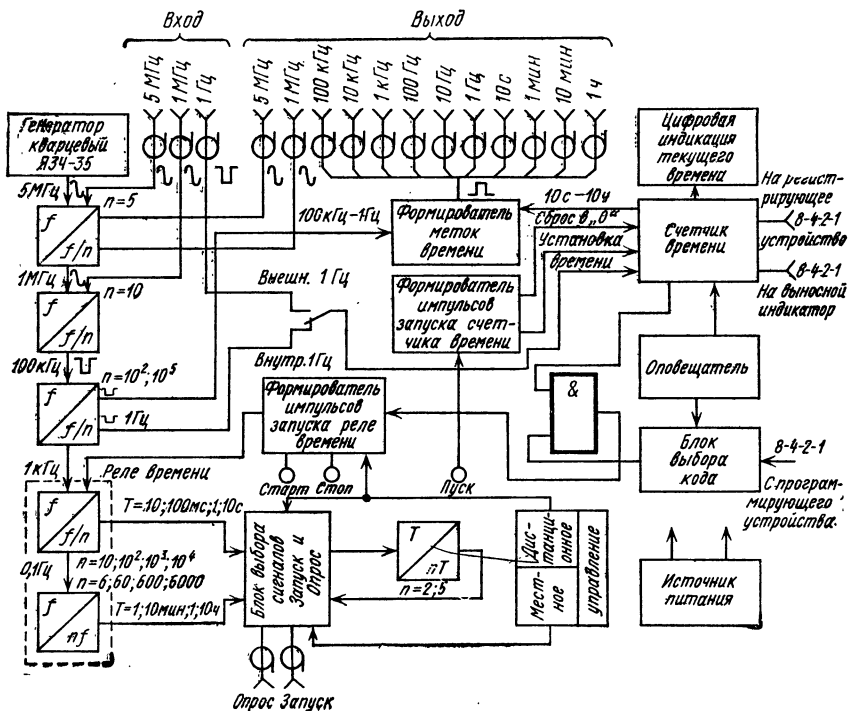


Рис. 1.52

Преобразователь шкал времени 45-18

Прибор (рис. 1.53) предназначен для коррекции скорости хода электронных часов путем непрерывного изменения фазы сигнала опорного генератора с помощью электронного фазовращателя. Применяется для синхронизации шкал времени $TU1, TU2$.

Основные технические характеристики

Частота входного сигнала 100 кГц
Напряжение входного сигнала 0,5 В
Входное сопротивление 1 кОм

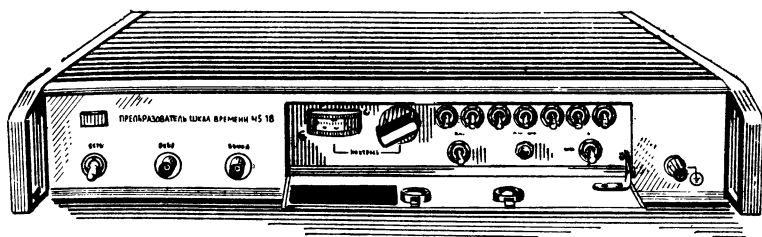


Рис. 1.53

Частота входного сигнала $100 \text{ кГц} \pm \pm \Delta f$

Пределы смещения частоты 10^{-2} Гц с шагом 10^{-4} Гц

Напряжение выходного сигнала $0,5 \text{ В}$

Выходное сопротивление 1 кОм

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5 \text{ Гц}$, напряжением $220 \pm 22 \text{ В}$; частотой $400 \pm \frac{2}{2} \text{ Гц}$, напряжением $220 \pm 15 \text{ В} \pm 5\%$, а также от источника постоянного тока напряжением $+27 \pm 3 \text{ В}$

Потребляемая мощность 15 ВА (сеть переменного тока), $7,5 \text{ Вт}$ (сеть постоянного тока)

Условия эксплуатации: температура от $+5$ до $+40^\circ \text{C}$, относительная влажность до 95% при $+30^\circ \text{C}$

Габаритные размеры

$490 \times 80 \times 475 \text{ мм}$

Масса 10 кг

Прибор (рис. 1.54) позволяет изменять дискретно среднее значение частоты сигнала опорного генератора в пределах $\pm 1 \cdot 10^{-2} \text{ Гц}$. Коррекция частоты производится с помощью электронного фазовращателя и замедлителя, периодически сдвигающих фазу выходного сигнала на фиксированную дискретную величину. В логическом устройстве фазовращателя в зависимости от знака коррекции осуществляется вычитание или добавление импульсов к последовательности импульсов, сформированной из входного сигнала 100 кГц , так что фаза синусоидального сигнала частотой 10 кГц на выходе фильтра I периодически сдвигается на $2\pi/10$ (по времени это соответствует смещению на $\pm 10 \text{ мкс}$). Благодаря первой ступени замедлителя

(смеситель I, фильтр II) фаза сигнала частотой 10 кГц на выходе фильтра III сдвигается при этом на величину, в 10 раз меньшую, т. е. на $\pm 2\pi/100$, или по времени на $\pm 1 \text{ мкс}$. Еще две ступени замедлителя (смеситель II, фильтр IV и смеситель III, фильтр VI) формируют сдвиг фазы (по времени) $\pm 10 \text{ нс}$. Таким образом, периодические вычитание и добавление импульсов к первоначальной последовательности импульсов приводит к периодическому смещению фазы выходного сигнала прибора на $\pm 2\pi/1000$, или на $\pm 10 \text{ нс}$, что эквивалентно сдвигу среднего значения частоты на $\pm \Delta f/1000$, где Δf — частота ввода добавляемых (вычитаемых) импульсов.

Импульсные сигналы, управляющие логическим устройством, формируются в синтезаторе низких частот. Синтезатор выполнен по принципу логического синтеза и формирует импульсы с частотой повторения от $0,1$ до 10 Гц с шагом $0,1 \text{ Гц}$.

Величина и знак коррекции устанавливаются в двоичной системе счисления с помощью тумблеров $K1-K7$, расположенных на передней панели прибора. В техническом описании на прибор приведена таблица, в которой указываются номера включаемых тумблеров для каждого значения коррекции в десятичной системе.

Прибор допускает одновременную ручную и автоматическую коррекцию шкалы времени. В автоматическом режиме частота следования управляющих импульсов задается тумблерами $K1-K7$. При ручной коррекции вводятся однократные сдвиги шкалы времени на величину 10 нс , что удовлетворяет современным требованиям,

предъявляемым к точности временных измерений.

Основное назначение прибора состоит в преобразовании атомной шкалы времени в астрономические шкалы ($TU1$, $TU2$), которые характеризуются малыми смещениями среднего значения частоты опорного генератора относительно номинального значения, присущего квантовым стандартам частоты. Например, в 1971 г. для воспроизведения шкалы времени $TU2$ необходимо было в частоту сигнала ввести относительный сдвиг $-30 \cdot 10^{-9}$.

При частоте сигнала стандарта 100 кГц это соответствует сдвигу среднего значения частоты $-0,003$ Гц, что легко реализуется данным прибором.

Прибор можно также использовать для прецизионных измерений временных характеристик радиосигналов, для проверки и регулировки приемников-компараторов фазовых Ч7-9, Ч7-10, а также в тех случаях, где требуется вводить фиксированные и очень малые относительные сдвиги среднего значения частоты опорного сигнала.

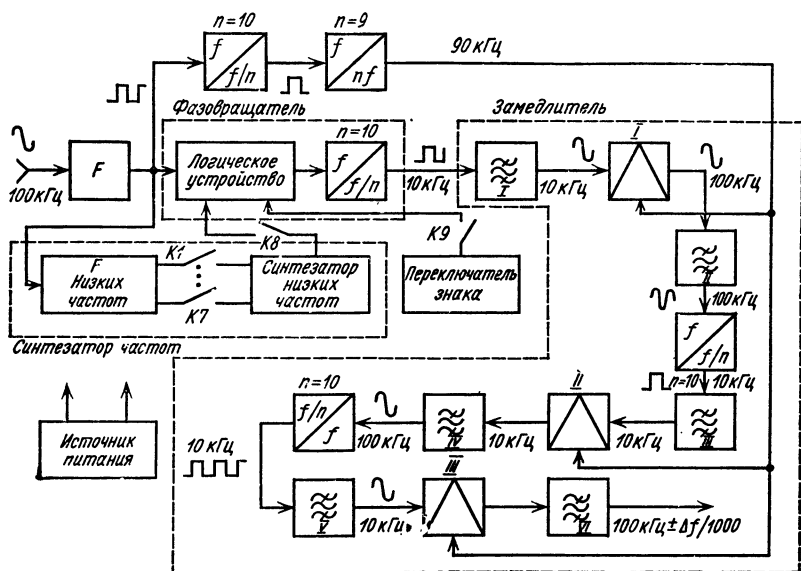


Рис. 1.54

Блок интервалов времени ЯЗЧ-45

Прибор предназначен для измерения совместно с электронно-счетными частотомерами ЧЗ-38 и ЧЗ-39 интервалов времени между импульсами, длительности импульсов в диапазоне 0,1 мкс—

10 с с разрешающей способностью 10 нс.

Погрешность измерения $\Delta = \Delta_1 + \Delta_2$, $\Delta_1 = T_{изм} \delta$, где $T_{изм}$ — измеряемый интервал; δ — относительная погрешность временной базы; $\Delta_2 = \pm 10$ нс.

Синтезатор интервалов времени 47-21

Синтезатор (рис. 1.55) предназначен для деления с переменным коэффициентом частоты следования периодических сигналов или создания калиброванной задержки импульсных сигналов.

220 ± 22 В; частотой $400 \pm \frac{2}{100}$ Гц, напряжением $220(115)$ В $\pm 5\%$

Потребляемая мощность 50 Вт

Условия эксплуатации: температура от $+5$ до $+40^\circ\text{C}$; относительная влажность до 95% при $+30^\circ\text{C}$

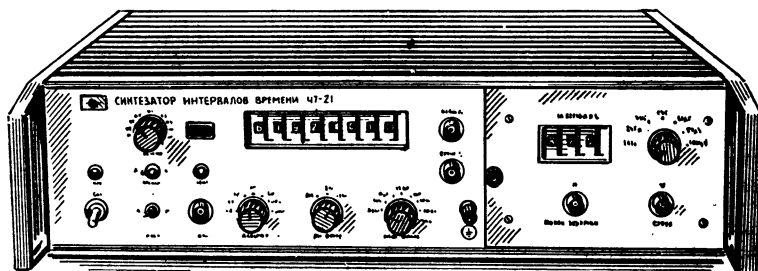


Рис. 1.55

Основные технические характеристики

База времени: внутренний кварцевый генератор Я34-35 или внешний источник опорной частоты 5 МГц

Входные сигналы: последовательность импульсов положительной или отрицательной полярности с частотой 10 Гц — 10 МГц, напряжением 0,3 — 100 В, $R_{вх} = 50$ Ом.

Режим работы:

деление частоты входного сигнала с переменным коэффициентом $n=1$ — 10^8 с шагом 1

калиброванная задержка входных импульсов, время задержки $0,3 \text{ мкс} + n t_m$ при частоте следования не более 1 МГц, $t_m=0,1; 1; 10; 100 \text{ мкс}$; 1; 10; 100 мс или задается внешним устройством

Выходной сигнал: последовательность импульсов положительной и отрицательной полярности длительностью 30 нс, напряжением 3 В, $R_n = 1 \text{ кОм}$, $C_n = 100 \text{ пф}$

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением

Габаритные размеры

$490 \times 135 \times 475$ мм

Масса 15 кг

Принцип работы прибора (рис. 1.56) основан на счете заданного количества импульсов вычитающим счетчиком с предварительной установкой, начальное состояние которого задается в форме двоично-десятичного кода и параллельно записывается во все разряды коротким импульсом В режиме деления частоты входной сигнал поступает на вход счетчика и последовательно изменяет его состояние от предварительно установленного до нулевого. При достижении счетчиком нулевого состояния формируется выходной сигнал, который производит повторную предустановку счетчика. Поскольку входной сигнал поступает на счетчик непрерывно, а на предустановку затрачивается время, значительно меньшее одного периода входного сигнала, все входные импульсы регистрируются счетчиком без потери и значение предварительно устанавливаемого состояния численно равно

коэффициенту деления. Коэффициент деления может принимать все целочисленные значения от 1 до 10^8 .

В режиме задержки предварительная установка счетчика производится аналогичным образом. После поступления на вход прибора задерживающего импульса с устройства управ-

ности установки частоты кварцевого генератора. Формируемые в режиме ЗАДЕРЖКА метки времени выдаются на разъем на задней панели прибора. Средняя относительная вариация частоты сигнала внутреннего кварцевого генератора при окружающей температуре, поддерживаемой с точностью

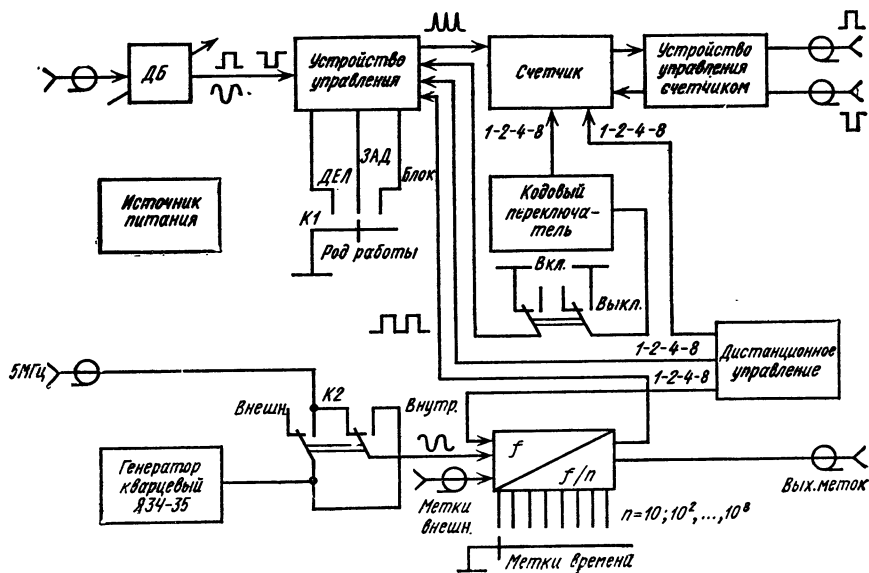


Рис. 1.56

ления на счетчик начинают поступать калиброванные метки времени, формируемые из сигнала опорного генератора. Состояние счетчика изменяется от предустановленного до нулевого, и по достижении нулевого состояния устройство управления формирует выходной импульс. Этим же импульсом производится повторная предварительная установка счетчика, после чего прибор подготовлен к следующему циклу работы. Величина периода калиброванных меток времени может быть выбрана в пределах от 0,1 мкс до 100 мс декадными ступенями. Максимальная погрешность в режиме ЗАДЕРЖКА при работе от внутреннего кварцевого генератора равна одному периоду меток времени плюс погреш-

$\pm 1^\circ\text{C}$, не более $+5 \cdot 10^{-9}$ за сутки после трех суток непрерывной работы.

Управление работой прибора осуществляется с помощью органов управления, расположенных на передней панели. Значение временной задержки или коэффициента деления устанавливается в цифровой форме восьмиразрядным кодовым переключателем. Для удобства входные и выходные разъемы прибора выведены на переднюю и заднюю панели. Входной сигнал может быть ослаблен в 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 раз. Предусмотрен плавный выбор уровня срабатывания в пределах $0,3 \pm 1$ В относительно нулевого уровня (корпуса).

Синтезатор интервалов времени Ч7 21 предназначен для использова-

ния в составе автоматизированных информационно-измерительных систем. С этой целью предусмотрено дистанционное управление режимами работы, выбором меток заполнения, значением коэффициента деления или значением временной задержки. Управление прибором осуществляется сигналом в параллельном двоично-десятичном коде. По уровням логичес-

кого 0 и логической 1 сигналы управления соответствуют ДТЛ и ТТЛ в положительной логике.

Синтезатор интервалов времени можно использовать в качестве дискретной линии задержки, генератора стандартных интервалов времени или цифрового синтезатора частоты при регулировке и эксплуатации электронной аппаратуры.

1.10. Классификация аппаратуры синтеза частот сигналов

Аппаратура синтеза частот формирует стабильные по частоте радиосигналы в диапазоне от долей герца до десятков гигагерц, параметры которых могут изменяться оператором с помощью органов управления на панелях приборов или дистанционно по программе.

Современные синтезаторы частот, выполняемые на полупроводниковой элементной базе, представляют собой многофункциональные широкодиапазонные приборы с программируемым изменением амплитуды и частоты. Они широко используются для автоматизации контрольно-измерительных операций, имитации различных видов радиосигналов и измерения радиотехнических и физических величин. Высокая спектральная чистота и точность установки частоты выходного сигнала синтезаторов позволяют находить для них все новые и новые области применения. Для расширения выполняемых функций аппаратура синтеза частот в дальнейшем будет дополняться умножителями и синхронизаторами частоты, различными преобразователями частоты, развертывающими и программируемыми устройствами. Необходимость упрощать управление и программирование таких комплексов приборов выдвигает задачу создания

более совершенных синтезаторов частот, которые имеют встроенные мини-ЭВМ и позволяют комплексно решать проблемы автоматизации радиоизмерений.

Аппаратура синтеза частот преобразует сигналы опорного стандарта частоты в сигналы с дискретно-изменяющейся частотой без существенной потери стабильности частоты и ухудшения спектра. В зависимости от целевого назначения приборов и методов их аттестации выходной сигнал аппаратуры синтеза частот характеризуется большим числом параметров. Наиболее важными из них являются: диапазон выходных частот, дискретность установки частоты, нестабильность частоты и спектральная чистота выходного сигнала, напряжение или мощность выходного сигнала, длительность переходных процессов при изменении частоты или уровня выходного сигнала.

По своему функциональному назначению аппаратура синтеза частот подразделяется на приборы, непосредственно осуществляющие процесс синтеза частот: синтезаторы частоты, умножители и делители частоты, синхронизаторы частоты, и вспомогательную аппаратуру, расширяющую функции синтезаторов частот.

Способ синтеза частот

Синтез частот основан на получении гармоник и субгармоник частоты высокостабильного опорного сигнала и

их последующем преобразовании в множество сигналов с дискретными значениями частот путем их сложения,

вычитания, умножения и деления, выполняемых радиоэлектронными узлами.

Измерительный синтезатор частот состоит из трех основных блоков (рис. 1.57). Опорный кварцевый гене-



Рис. 1.57

ратор обеспечивает высокостабильный по частоте сигнал 1 или 5 МГц. От спектра этого сигнала в значительной степени зависят частотные параметры выходного сигнала синтезатора частот.

Блок опорных частот формирует из сигнала опорного генератора ряд сигналов с фиксированными частотами, необходимых для работы системы синтеза частот. Ухудшения стабиль-

ности частоты и спектральной чистоты сигнала опорного генератора, вносимые блоком опорных частот, незначительны и определяются нестабильностью частоты и фазы, вносимой делителями и умножителями частоты.

Система синтеза частот выполняет основную функцию: создает на выходе сигнал с программируемым в заданном диапазоне значением частоты и определяет все основные частотные параметры выходного сигнала. Основным элементом системы синтеза частот является частотная декада, которая обеспечивает установку значения частоты выходного сигнала в одном или нескольких десятичных разрядах. Она состоит из узлов, выполняющих соответствующие арифметические действия над частотами сигналов блока опорных частот, и фильтров с фиксированной или переменной частотой настройки. С помощью фильтров подавляются нежелательные составляющие, возникающие в спектре сигнала в процессе преобразования частоты.

Структурное построение синтезаторов частот

В зависимости от конкретных технических требований, предъявляемых к выходному сигналу синтезаторов частот, они выполняются по различным структурным схемам. В основном это различие касается частотных декад системы синтеза частот, так как в блоках опорных частот используется

только умножение и деление частот и по своей структуре они различаются незначительно.

Существуют два метода построения частотных декад, а следовательно, и измерительных синтезаторов частот. При методе прямого синтеза частот выходные сигналы формируются в результате непосредственного преобразования опорных частот смесителями, умножителями и делителями (рис. 1.58). Частотные декады содержат обычно один или два смесителя в сочетании с делителем частоты в 10 раз и включаются последовательно. Их количество определяется только заданным значением дискретности установки частоты выходного сигнала. Действительно, при коэффициенте деления частоты в декаде $n=10$ количество выходных частот для N последовательно соединенных декад составляет $K_{\text{вых}} = n^N = 10^N$. Дискретность установки частоты $\Delta f_{\text{вых}}$ синтезатора, перекрывающего диапазон $\Pi_{\text{вых}}$

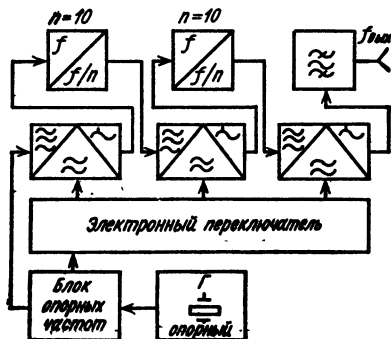


Рис. 1.58

$$\Delta f_{\text{вых}} = P_{\text{вых}} / K_{\text{вых}} = P_{\text{вых}} / 10^N$$

убывает с ростом числа декад N и может быть сделана сколь угодно малой.

Коммутация входных сигналов декад осуществляется N -канальным электронным переключателем, который управляется кнопками с передней панели или дистанционно. Такое построение системы синтеза частот обуславливает ее высокое быстродействие. Ограничения на время переключения с одной частоты на другую накладывают только постоянные времени фильтрующих элементов в цепях управления переключателя и переходные процессы в фильтрах декад. Для одной частотной декады время переключения равно $t_f = t_{\text{пер}} + t_{\phi}$, где $t_{\text{пер}}$ — задержка сигнала в цепях управления переключателя; t_{ϕ} — длительность переходных процессов в фильтрах. Обе составляющие времени переключения убывают с ростом рабочей частоты декады и при использовании частот порядка нескольких мегагерц составляют единицы микросекунд. Хотя максимальное время переключения синтезатора частот увеличивается прямо пропорционально количеству частот декад $t_{f_{\text{max}}} = N t_f$, для систем прямого синтеза оно остается достаточно малым.

Как правило, частотные декады являются узкодиапазонными устройствами, поэтому совместное включение нескольких декад позволяет формировать большое количество выходных частот в пределах ограниченного диапазона. Для его расширения в системах прямого синтеза применяется умножение частот. Однако при слишком больших коэффициентах умножения спектральные характеристики системы синтеза и обычных автогенераторов на высокочастотных резонаторах практически не отличаются друг от друга. Это ограничивает диапазон синтезаторов частот, построенных по методу прямого синтеза, частотами не выше 500 МГц.

При методе косвенного синтеза частот основу частотных декад составляет система фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), являющаяся ак-

тивным фильтром (рис. 1.59). Основным фильтрующим элементом в системе ФАПЧ служит фильтр нижних частот, включенный на выходе фазового детектора в цепи управляющего напряжения. Для удовлетворительной

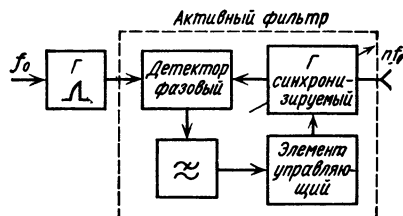


Рис. 1.59

фильтрации помех и гармоник частоты опорного сигнала полоса фильтра нижних частот выбирается достаточно узкой, что приводит к сокращению полосы пропускания системы. В результате время переключения с одной частоты на другую, связанное с полосой пропускания системы ФАПЧ P_{ϕ} выражением $t_f = (2-3)/P_{\phi}$, получается достаточно большим.

Другим следствием узкой полосы пропускания систем косвенного синтеза является ограниченное число выходных частот, которое зависит от неустойчивости частоты синхронизируемого генератора и требуемой величины ослабления сигналов с частотой сравнения фазового детектора. В некоторой степени эти ограничения снимают, включая в цепь обратной связи кольца ФАПЧ делитель частоты с переменным коэффициентом деления, однако подобные частотные декады обладают более высоким уровнем фазовых шумов.

В области СВЧ применяют более сложные схемы фазовой синхронизации. Наиболее широко распространены схемы с последовательным преобразованием частоты синхронизируемого генератора и умножением частоты высокочастотного синтезатора системой импульсно-фазовой автоподстройки частоты.

Преимуществами прямого синтеза частот перед косвенным являются бо-

более широкий диапазон выходных частот, быстроедействие в режиме переключения частот, малая кратковременная нестабильность частоты и спектральная чистота выходного сигнала. Косвенный синтез обеспечивает более низкую стоимость синтезаторов частот, техническую простоту конструкции, возможность миниатюризации большинства узлов и высокую надежность. Это привело к использованию

систем ФАПЧ во всем диапазоне частот, хотя наиболее отчетливо их преимущества на частотах до 500 МГц проявляются только в случае применения интегральных микросхем. Что касается более высоких частот, особенно СВЧ диапазона, то здесь косвенный метод синтеза остается практически единственным методом построения широкодиапазонных синтезаторов частот.

1.11. Аппаратура синтеза частот

Рассматриваемая аппаратура объединяет приборы, используемые как автономно при различных радиотехнических измерениях, так и в составе комплектов, установок и систем при специализированных частотно-временных измерениях. Синтезаторы частот и дополнительные приборы, расширяющие возможности синтезаторов частот, применяют для измерения параметров высокостабильных по частоте сигналов, контроля характеристик четырехполосников и узкополосных трактов радиотехнических устройств, анализа спектра радиосигналов, калибровки частотных шкал приемников и передатчиков.

Возможность дистанционного управления приборами позволяет комплексно решать проблемы автоматизации измерительных и контрольных операций при выпуске продукции и управлении технологическими процессами в различных отраслях народного хозяйства.

Аппаратура синтеза частот может выдавать сигналы в диапазоне от единиц герц до десятков гигагерц с

дискретностью установок частоты одного порядка с нестабильностью частоты и ослаблением дискретных комбинационных составляющих в спектре выходного сигнала более 50—80 дБ. Она может обеспечивать дистанционное изменение частоты и амплитуды выходного сигнала программируемыми устройствами, работающими в параллельном или последовательном коде, работу в режимах амплитудной, частотной и фазовой модуляции, формирование испытательных сигналов с двух- и трехчастотной структурной спектра.

Все приборы этой группы предусматривают совместное использование и обладают единым конструктивным исполнением. В аппаратуре синтеза частот согласованы уровни входных и выходных сигналов, код принимаемой и выдаваемой информации, а также структура сигналов дистанционного управления. Основные и вспомогательные узлы унифицированы по конструкции и напряжениям источников питания.

Синтезатор частоты Ч6-58

Синтезатор (рис. 1.60) предназначен для генерирования высокостабильного по частоте электрического сигнала высокой спектральной чистоты.

Основные технические характеристики

Диапазон частот 50—49999999,99 Гц
Дискретность установки частоты 0,01 Гц

Напряжение выходного сигнала $1,0 \text{ В} \pm 3 \text{ дБ}$ на нагрузке 50 Ом

Изменение выходного напряжения 0—60 дБ ступенями через 10 дБ

Длительность переходных процессов при установке нового значения частоты 160 мкс

Ослабление спектральных составляющих с частотами:

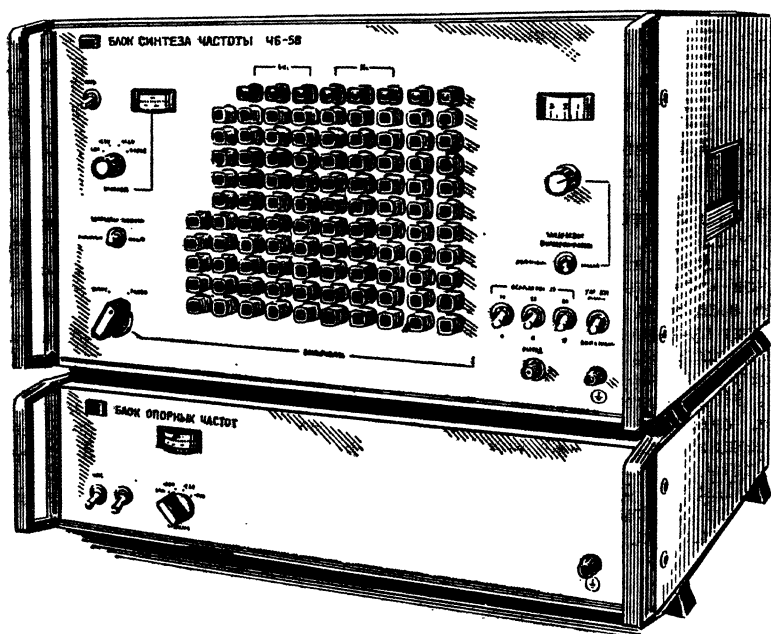


Рис. 1.60

кратными частоте выходного сигнала 25 дБ,
не кратными частоте выходного сигнала 70 дБ,
кратными частоте питающей сети 60 дБ

Интервал времени	Нестабильность выходного сигнала, 10^{-9} , при частоте	
	1 МГц	5 МГц
1 сут	5	5
1 с	5	1
10 с	500	100

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В; частотой $400 \pm 1,2$ Гц, напряжением $220(115)$ В $\pm 5\%$

Потребляемая мощность 120 ВА

Условия эксплуатации: температура от $+5$ до $+40^\circ\text{C}$, относительная влажность до 95% при $+30^\circ\text{C}$

Габаритные размеры:

БОЧ $490 \times 135 \times 475$ мм,

БСЧ $490 \times 295 \times 475$ мм

Масса 65 кг

Частота выходного сигнала синтезатора 46-58 (рис. 1.61) получается путем преобразования частоты сигнала опорного кварцевого генератора методом прямого синтеза. Для преобразования используются смесители, делители и умножители частоты.

В блоке опорных частот из сигнала кварцевого генератора 5 МГц формируются 12 опорных сигналов с частотами 24, 30 и 3,0—3,9 МГц с шагом через 100 кГц. Преобразование частоты опорных сигналов в требуемый диапазон производится в блоке синтеза частоты, состоящем из электронного переключателя 3—4 МГц, семи частотных декад и двух выходных смесителей с системой автоматической регулировки уровня. Частота на выходе последней декады изменяется в пределах 30—31 МГц ключами элект-

ронного переключателя, управляемого напряжением постоянного тока. Сигнал 30—31 МГц поступает на СВЧ секцию, в которой диапазон синтезируемых частот расширяется до 50 МГц. Для работы этой секции в блоке опорных частот вырабатываемые дополнительно опорные сигналы 30—39 МГц с шагом через 1 МГц, которые участвуют в образовании выходной частоты в разрядах единиц и десятков мегагерц. Расширение диапазона выходных частот производится за счет преобразования ряда сигналов в смесителях, в том числе опорных сигналов 30—39 МГц и сигнала 30—31 МГц блока синтеза частот. Кроме смесителей частоты в состав СВЧ секции входят также умножители частоты опорных сигналов 30 и 35—39 МГц в 10 раз и электронные переключатели, коммутирующие опорные сигналы при установочных частотах.

Разностная частота 50 Гц — 50 МГц, полученная на выходе последнего смесителя, проходит через фильтр нижних частот и усиливается до требуемого уровня широкополосным усилителем. На выходе усилителя включен программируемый аттенуатор, регулирующий выходное напряжение ступенями через 10 дБ. Для поддержания напряжения по диапазону частот неизменным выходной тракт охвачен системой автоматической регулировки уровня.

В отличие от других приборов синтезатор частоты Ч6-58 имеет в СВЧ секции дополнительный смеситель, один из входов которого выведен на заднюю панель. Это позволяет, подавая на смеситель внешний опорный сигнал с частотой $30 \pm 0,01$ МГц, смещать выходную частоту прибора в пределах ± 10 кГц.

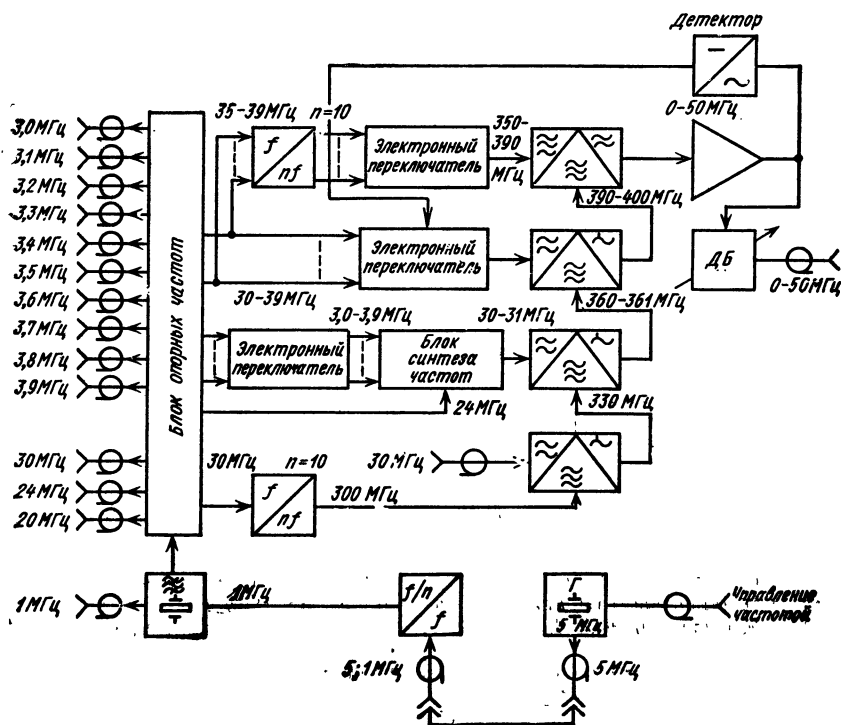


Рис. 1.61

Нестабильность частоты выходного сигнала прибора определяется используемым опорным генератором, поэтому для улучшения характеристик сигнала вместо внутреннего кварцевого генератора можно использовать внешний стандарт частоты. Внутренний кварцевый генератор имеет, кроме того, вход управления, позволяющий синхронизировать его с любым внешним источником высокостабильного сигнала системой ФАПЧ.

Синтезатор частот может выдавать сигнал, модулированный по амплитуде, частоте или фазе. Для этого на разъем «30 МГц», расположенный на задней панели прибора, необходимо подать от внешнего модулятора опорный сигнал с частотой 30 МГц, несущий соответствующую информацию. Встроенный интерполяционный генератор с дистанционным управлением частотой позволяет производить частотную модуляцию и перестройку частоты в пределах одного разряда. Максимальная частота модулирующего сигнала синусоидальной формы составляет 1 кГц.

Для уменьшения дискретности установки частоты следует вместо интерполяционного генератора использовать внешний источник опорного сигнала, имеющий диапазон 3—4 МГц. При этом дискретность установки частоты внешнего сигнала уменьшается от 1 до 10^6 раз (кратно 10) в зависимости от частотной декады, в которую этот сигнал включается. Выход сигнала интерполяционного генератора на задней панели позволяет контролировать его частоту и проводить различные измерения, требующие пе-

рестраиваемого генератора с электронным управлением.

Помимо основного выходного сигнала, синтезаторы частот выдают сигналы с частотами 1; 3,0—3,9; 24; 30 МГц, которые имеют стабильность частоты опорного генератора и могут использоваться для синхронизации других приборов, например электронно-счетных частотомеров.

Установка выходной частоты и величины ослабления аттенуатора в синтезаторе частот осуществляется как кнопочными переключателями на передней панели, так и с помощью сигналов дистанционного управления, подаваемых на соответствующие контакты разъемов на задней панели прибора. Управление частотой производится в единично-десятичном коде напряжением $12,6 \text{ В} \pm 10\%$. Максимальное потребление тока от программирующего устройства составляет 120 мА для цепей управления аттенуатором и 8—16 мА на один разряд для цепей управления частотой.

Многофункциональность и гибкость управления выходным сигналом синтезатора частот Ч6-58 позволяет использовать его в системах автоматического контроля радиотехнических трактов как генератор стимулов, выдающий сигналы известной амплитуды, частоты и фазы.

Конструктивно прибор выполнен из ряда функциональных узлов, легко заменяемых. Для удобства ремонта узлы в труднодоступных местах монтируются на откидных панелях.

По техническим характеристикам синтезатор частоты Ч6-58 превосходит прибор Ч6-31.

Умножитель частоты синтезаторный Ч6-2

Прибор (рис. 1.62) предназначен для умножения частоты диапазонных источников сигнала в 2, 4 и 8 раз.

Основные технические характеристики

Диапазон частот входного сигнала
25—50 МГц

Диапазон частот выходного сигнала
50—400 МГц

Коэффициент умножения частоты 2, 4, 8

Напряжение входного сигнала 0,3—1 В

Напряжение выходного сигнала:
 $0,5 \text{ В} \pm 2 \text{ дБ}$ в диапазоне частот
50—200 МГц

не менее 0,1 В в диапазоне частот 200—400 МГц

Длительность переходных процессов при дистанционном управлении 1 мс

ступень умножения частоты, состоящую из удвоителя частоты и пяти полосовых фильтров 100—200 МГц. Выбор нужного фильтра производится с помощью электронного переключате-

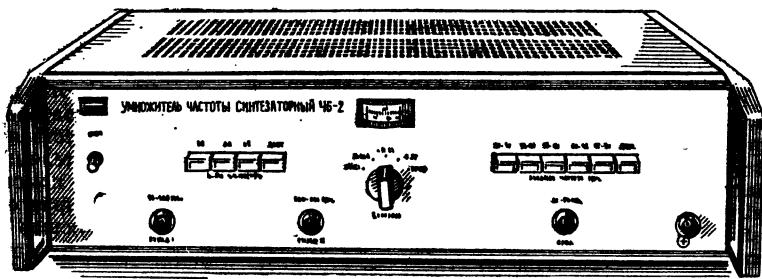


Рис. 1.62

Ослабление спектральных составляющих с частотами:

кратными частоте выходного сигнала 18 дБ,

не кратными частоте выходного сигнала 50—60 дБ

Вносимая кратковременная нестабильность частоты $5 \cdot 10^{-8}$ за 10 мс

Отношение мощности выходного сигнала к мощности амплитудных шумов 50 дБ в полосе 1 кГц при отстройке от несущей на 1 кГц

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В

Потребляемая мощность 30 ВА

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40°C, относительная влажность до 95% при +30°C

Габаритные размеры

490×135×475 мм

Масса 18 кг

Сигнал, поступающий на вход прибора (рис. 1.63) умножается по частоте широкополосным удвоителем и затем подается на один из пяти переключаемых полосовых фильтров, перекрывающих диапазон 50—100 МГц. При умножении частоты в 2 раза выход соответствующего фильтра подключается к разъему ВЫХОД 50—200 МГц. Если установлен коэффициент умножения 4, сигнал с полосовых фильтров подается еще на одну

для. Для стабилизации уровня выходного напряжения в диапазоне частот 50—200 МГц предусмотрена система автоматической регулировки уровня.

Дальнейшее расширение диапазона выходных частот прибора производится с помощью третьей ступени удвоения частоты. При коэффициенте умножения 8 сигнал с выхода полосовых фильтров 100—200 МГц через электронный переключатель подается на удвоитель частоты с набором полосовых фильтров 200—400 МГц. Выход этих фильтров подключается к широкополосному выходному усилителю, сигнал с которого снимается на разъеме ВЫХОД 200—400 МГц. Работой всех электронных переключателей, коммутирующих сигналы в приборе, управляет дешифратор, на который подается информация о входной частоте и требуемом коэффициенте умножения в виде напряжений постоянного тока.

Умножитель частоты Ч6-2 сочетает высокие спектральные характеристики выходного сигнала с простотой эксплуатации. Он не содержит перестраиваемых контуров и поэтому не требует никакой предварительной настройки и калибровки. При поданном на вход прибора сигнале с частотой в диапазоне 25—50 МГц сигнал с умноженной частотой появляется на выходных разъемах немедленно после

нажатия соответствующих кнопок переключателей, выбирающих коэффициент умножения и диапазон входных частот. Все изменения уровня входного сигнала сводятся к минимуму

связной аппаратуры, выполнять прецизионные измерения спектральных и временных характеристик радиосигналов, производить настройку узкополосных трактов, дискриминаторов, фаз

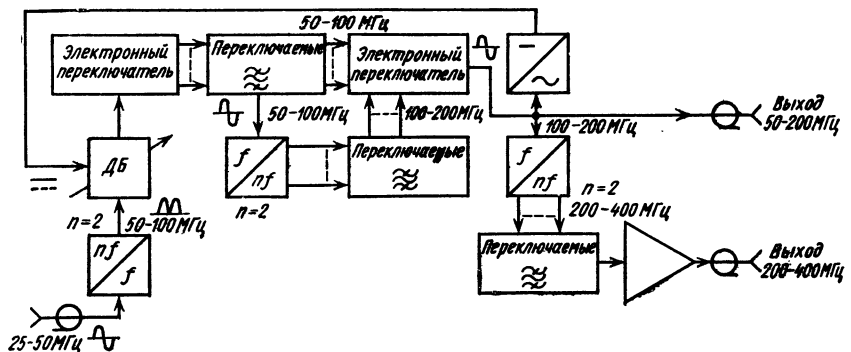


Рис. 1.63

системой автоматической регулировки уровня.

Установка коэффициента умножения и диапазона входных частот осуществляется как переключателями на передней панели, так и сигналами дистанционного управления, подаваемыми на соответствующие контакты разъема на задней панели. Управление производится напряжением $12,6 \text{ В} \pm 10\%$ с максимальным потреблением тока от программирующего устройства $0,8 \text{ мА}$ по каждой цепи.

При необходимости в приборе можно комбинировать местное управление коэффициентом умножения с дистанционным переключением диапазона входных частот. Этот режим удобен при совместной работе умножителя частоты с синтезаторами частот Ч6-31, Ч6-57 и Ч6-58, выдающими информацию об установленной на них частоте на разъемы дистанционного управления.

Умножитель частоты Ч6-2 в несколько раз расширяет диапазон частот, выдаваемых синтезаторами частот, улучшает их эксплуатационные возможности. С его помощью можно калибровать шкалы измерительной и

зовых детекторов, а также оценивать величину параметров четырехполюсников в широком диапазоне частот.

В радиолокации, радионавигации, радиоастрономии, системах синхронизации СВЧ диапазона умножитель частоты можно использовать в составе задающей частоту опорной системы, а применение его в качестве источника высокочастотных колебаний значительно облегчает исследования ядерного магнитного резонанса и спектров поглощения веществ. В комплекте с другими приборами умножитель частоты Ч6-2 является высококачественным генератором стимулов для систем автоматического контроля, в которых проверяемые тракты контролируемого оборудования возбуждаются сигналами с известными амплитудой, частотой и фазой.

Конструктивно прибор состоит из отдельных функциональных блоков, соединенных друг с другом врубными разъемами с высокочастотными коаксиальными кабелями. Все узлы выполнены на полупроводниковых приборах. По основным техническим характеристикам умножитель частоты Ч6-2 заменяет прибор Ч6-36.

Умножитель частоты Ч6-62

Прибор (рис. 1.64) предназначен для умножения частоты 5 МГц высокостабильных синусоидальных сигналов и выдачи сигналов частотой 10, 100 МГц, 1 и 10 ГГц.

Нестабильность частоты, вносимая прибором за 1 с, $1 \cdot 10^{-12}$

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В; частотой $400 \pm \frac{2}{12}$ Гц напряжением $220(115) \text{ В} \pm 5\%$

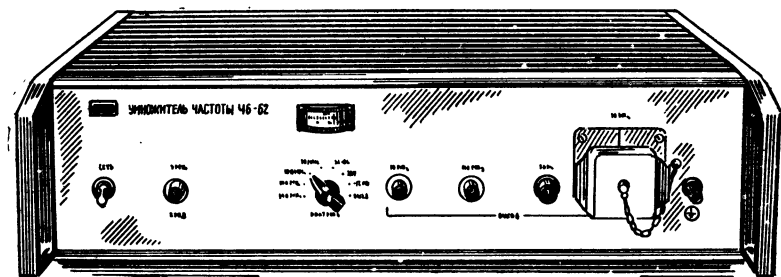


Рис. 1.64

Основные технические характеристики

Частота входного сигнала 5 МГц
Частота выходных сигналов 10, 100 МГц, 1 и 10 ГГц

Напряжение входного сигнала 0,5—1,5 В

Напряжение выходного сигнала 0,5 В с частотой 10 и 100 МГц на нагрузке 50 Ом

Мощность выходного сигнала:

1 мВт с частотой 1 ГГц,

50 мкВт с частотой 10 ГГц

Ослабление спектральных составляющих с частотой, кратной частоте входного сигнала:

60 дБ для сигналов 10 и 100 МГц,

30 дБ для сигналов 1 и 10 ГГц

Потребляемая мощность 20 ВА

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40°C, относительная влажность до 95% при +30°C

Габаритные размеры:

490×135×475 мм

Масса 15 кг

Прибор (рис. 1.65) работает по принципу прямого умножения частоты входного сигнала. Входной сигнал частотой 5 МГц поступает на транзисторный умножитель частоты 5—100 МГц, который выдает сигналы с частотами 10 и 100 МГц. Одновременно усиленные сигналы 100 МГц поступают на входы двух СВЧ умножителей частоты. Они представляют собой диодные генераторы гармоник с фильтрами, выделяющими соответственно десятую и сотую гармонику частоты 100 МГц. Для лучшего подавления боковых составляющих и обеспечения чистоты спектра выходных сигналов фильтры генераторов гармоник выполнены двухрезонаторными со связью, близкой к критической.

Умножитель частоты Ч6-62 обладает малым уровнем собственных фазо-

Отстройка от несущей, Гц	20 50 100 1000
Отношение мощности сигнала к мощности фазовых шумов (в полосе 6 ± 2 Гц), дБ	125 105 105 135

вых шумов и практически не ухудшает спектр умножаемого сигнала. Вместе с тем он является чрезвычайно простым, надежным в эксплуатации и не требует в процессе подготовки к работе какой-либо настройки или ка-

улучшает их эксплуатационные возможности. С его помощью можно выполнять прецизионные измерения спектра фазовых шумов и кратковременной нестабильности частоты таких высокостабильных источников сигнала.

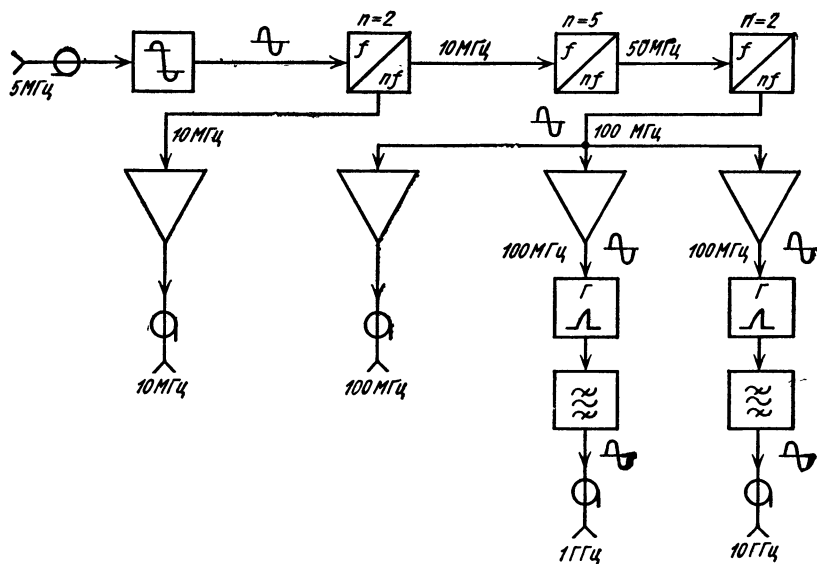


Рис. 1.65

либровки. При подаче на вход сигнала частотой 5 МГц сигналы с умноженной частотой появляются одновременно на всех выходах. Выходы сигналов развязаны буферными усилителями, что позволяет нагружать их независимо друг от друга. Все изменения уровня входного сигнала сводятся к минимуму входным диодным ограничителем.

С помощью умножителя частоты Ч6-62, кроме основной частоты 5 МГц, можно умножать и ее субгармоники, но с некоторым ухудшением спектра выходного сигнала. Минимальная частота входного сигнала, при которой прибор сохраняет работоспособность, равна 1 МГц.

Умножитель частоты Ч6-62 значительно повышает разрешающую способность измерительных систем и

лов, как синтезаторы частот, кварцевые и квантовомеханические стандарты частоты. В комплекте с высококачественным кварцевым генератором он позволяет контролировать на фиксированных частотах точность настройки узкополосных фильтров, кварцевых дискриминаторов систем ФАПЧ, а также оценивать фазовые шумы резонансных и широкополосных усилителей.

В радиолокации, радионавигации, радиоастрономии, службе частоты и времени умножитель частоты Ч6-62 совместно со стандартами частоты Ч1-44, Ч1-48 и Ч1-53 можно использовать в качестве источника опорного сигнала.

По своим техническим характеристикам умножитель частоты Ч6-62 заменяет прибор Ч6-35.

Делитель частоты Ч6-63

Прибор (рис. 1.66) предназначен для преобразования сигнала частотой 5 или 1 МГц в сигнал частотой 100 кГц.

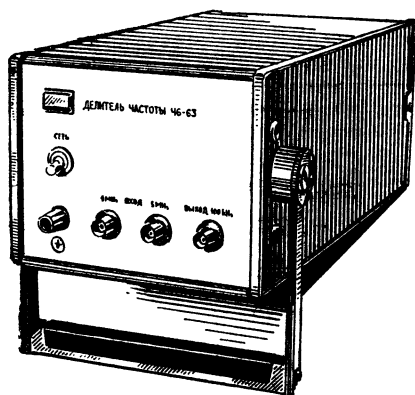


Рис. 1.66

Основные технические характеристики

Частота входного сигнала 5 или 1 МГц

Частота выходного сигнала 100 кГц

Коэффициент деления 10 и 50

Напряжение входного сигнала 0,5—1,5 В

Напряжение выходного сигнала 1 В на нагрузке 50 Ом

Погрешность, вносимая прибором, при сличении частот с приемником-компаратором:

$1 \cdot 10^{-12}$ за 1 сутки,

$2,3 \cdot 10^{-11}$ за 1 ч

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В; частотой $400 \pm \frac{2}{12}$ Гц, напряжением $220(115) \text{ В} \pm 5\%$

Потребляемая мощность 5 ВА

Условия эксплуатации: температу-

ра от -10 до $+50^\circ\text{C}$, относительная влажность до 98% при $+30^\circ\text{C}$

Габаритные размеры

$120 \times 152 \times 308$ мм

Масса 5 кг

Структурная схема делителя частоты Ч6-63 приведена на рис. 1.67.

Входной сигнал частотой 5 МГц подается на буферный каскад, работающий в режиме ограничения. Деление частоты на 5 происходит в регенеративном делителе, находящемся в недовозбужденном состоянии. Обратная связь между умножителем частоты и смесителем выбрана такой, что при отсутствии сигнала на входе отсутствует сигнал и на выходе. Буферный усилитель, настроенный на частоту 1 МГц, также работает в режиме ограничения. Во втором регенеративном делителе производится деление частоты в 10 раз. Выходной сигнал частотой 100 кГц имеет синусоидальную форму.

Делитель частоты Ч6-63 выполнен полностью на полупроводниковых приборах и отличается малым временем самопрогрева, составляющем 1 мин.

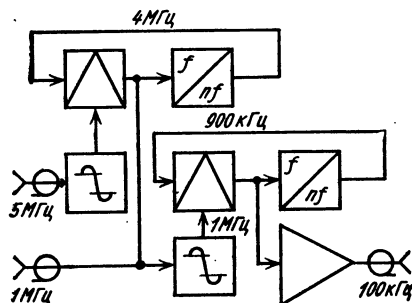


Рис. 1.67

Он применяется в комплекте с приемниками-компараторами для сличения частот, а также как самостоятельный прибор для деления частоты высокостабильных сигналов в системах выдачи стандартных частот.

1.12. Классификация электронно-счетных частотомеров

Электронно-счетные частотомеры (ЭСЧ) осуществляют измерение среднего значения частоты и периода электрических колебаний при различных временах усреднения, отношения частот двух сигналов, длительности интервалов времени, счет числа колебаний за установленный интервал времени. ЭСЧ широко применяются для измерения и контроля частотно-временных параметров радиосигналов при исследованиях в различных отраслях науки и техники, а также при эксплуатации и производстве радиоаппаратуры. При использовании соответствующих датчиков они позволяют измерять различные физические величины, причем результаты могут быть выражены в требуемых единицах измерения. При этом обеспечивается более высокая точность, чем при использовании традиционных методов и инструментов. Благодаря таким возможностям ЭСЧ находят все более широкое применение в машиностроении, авиации и автомобилестроении и других отраслях народного хозяйства.

Замена резонансных волномеров цифровыми приборами значительно повысила точность измерения и снизила трудоемкость при проведении контрольно-поверочных операций на производстве и при научных исследованиях.

Применение полупроводниковых приборов позволило создать ЭСЧ второго поколения со значительно меньшими габаритными размерами и массой, с меньшей потребляемой мощностью и повышенными техническими характеристиками.

Третье поколение обеспечило дальнейшее улучшение основных параметров ЭСЧ и расширение их функциональных возможностей. Достигнута точность измерения $\pm 5 \cdot 10^{-9}$, разрешающая способность измерения длительности интервалов времени составляет 10 нс. При быстродействии ЭСЧ до 100—200 МГц диапазон измеряемых частот с помощью преобразователей частоты расширен до 70 ГГц.

Универсальные ЭСЧ обеспечивают работу с большой группой сменных блоков. Объем и масса сервисных ЭСЧ благодаря применению микросхем снижены соответственно до 8—10 дм³ и 6 кг.

ЭСЧ четвертого поколения обеспечивают прецизионные измерения частотно-временных параметров радиосигналов и высокий уровень программирования. Широкое развитие микроэлектроники и цифровой техники обеспечивает возможность создать встраиваемые мини-ЭВМ (арифметические процессоры), что позволит производить программируемую статистическую и математическую обработку результатов многократных измерений для непосредственного измерения различных параметров сложных радиосигналов.

Принцип действия электронно-счетных частотомеров основан на сравнении измеряемых частоты или интервала времени соответственно с частотой или временным интервалом, значения которых известны с высокой точностью. Сравнение осуществляется путем временного стробирования сравниваемых сигналов. Сигналы образцово-частоты и образцовые интервалы времени формируются из сигнала внутреннего кварцевого генератора ЭСЧ или внешнего стандарта частоты.

ЭСЧ обеспечивают полностью автоматическое измерение с представлением результатов измерения в удобной для считывания десятичной форме. Максимальное число десятичных разрядов определяется емкостью счетчика в зависимости от диапазона измеряемых величин и реализуемой точности измерения. Благодаря наличию запоминающего устройства в системе индикации результат предыдущего измерения сохраняется на время цикла измерения. Длительность цикла измерения и время счета изменяются в широких пределах. Возможна внешняя ручная или автоматическая синхронизация цикла измерения.

Вывод информации в двоично-десятичном коде обеспечивает при использовании внешних вспомогательных устройств автоматическую регистрацию результатов измерений цифр печатающими устройствами или в графической форме, а также позволяет производить их обработку в реальном времени с помощью цифровых вычислительных устройств. Вывод информации в цифровой форме и возможность дистанционного управления основными режимами позволяют ис-

пользовать ЭСЧ в автоматизированных информационно-измерительных системах.

Основными характеристиками ЭСЧ являются: диапазон частот исследуемых сигналов, погрешность и разрешающая способность измерения, диапазон уровней входных сигналов, время счета, обеспечиваемые режимы работы, а также эксплуатационные характеристики (габаритные размеры, масса, условия эксплуатации и т. д.).

Принцип работы ЭСЧ в основных режимах

Основными элементами ЭСЧ являются: электронный счетчик импульсов с запоминающим устройством и системой цифровой индикации; временной селектор; формирующие устройства, вырабатывающие нормированные по величине и временным пара-

число циклов исследуемого сигнала или сигнала образцовой частоты за время, задаваемое одним из этих сигналов.

В режиме измерения частоты (рис. 1.68) импульсы, вырабатываемые из исследуемого сигнала, поступают че-

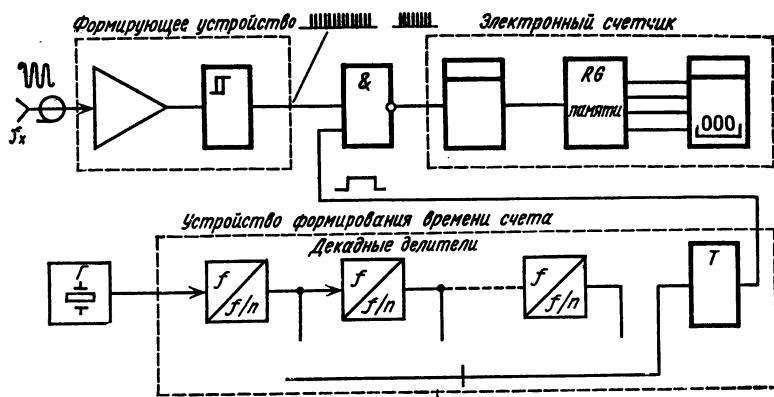


Рис. 1.68

метрам сигналы; устройство формирования времени счета, в состав которого входит блок декадных делителей частоты; источник сигнала образцовой частоты; устройство управления, обеспечивающее необходимую синхронизацию работы всех элементов ЭСЧ в различных режимах работы.

В зависимости от режима работы электронный счетчик регистрирует

рез селектор, открытый на время, формируемое сигналом образцовой частоты, на электронный счетчик, на цифровом табло которого индуцируется среднее значение измеряемой частоты в единицах частоты. Время счета (усреднения) $\tau_{сч} = 1, 10, 100$ мс, 1 или 10 с определяется числом подключенных декадных делителей.

Погрешность измерения частоты определяется погрешностью установки номинального значения и нестабильностью частоты внутреннего кварцевого генератора или внешнего источника сигнала образцовой частоты δ_0 и погрешностью дискретности счета, обусловленной несинфазностью сигнала

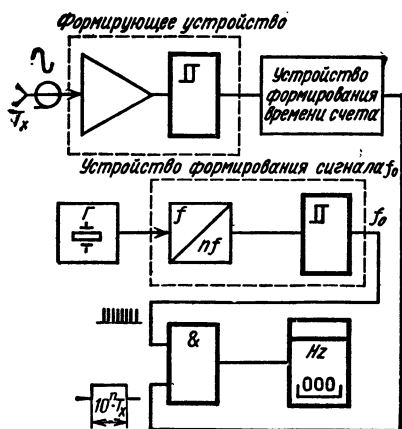


Рис. 1.69

лов измеряемой и образцовой частот и равной ± 1 в младшем индицируемом разряде: $\delta = \pm \delta_0 \pm 1/f_{изм} T_{сч}$, где $f_{изм}$ — значение измеряемой частоты.

Максимальное значение измеряемой частоты определяется в основном быстродействием электронного счетчика, хотя с ростом значения измеряемой частоты повышаются требования к быстродействию временного селектора и других элементов. Для увеличения максимального значения измеряемых частот во входном тракте широко применяются двоичные делители частоты, быстродействие которых выше, чем у декадных делителей, образующих электронный счетчик. Прямой отсчет значения частоты на табло ЭСЧ достигается введением делителя с соответствующим коэффициентом деления в тракт формирования времени счета.

В режиме измерения периода (рис. 1.69) устройство формирования времени счета вырабатывает импульс

длительностью в 1 или 10^n (n — целое положительное число) периодов входного сигнала, открывающий селектор. Через открытый селектор на электронный счетчик поступают импульсы, сформированные из сигнала образцовой частоты. На цифровом табло ЭСЧ индицируется значение одного или усредненного периода в единицах времени (микросекунда, миллисекунда). Коэффициент усреднения 10^n определяется числом n декадных делителей, включенных в тракт формирования времени счета.

Погрешность измерения периода обусловлена погрешностью установки номинального значения и нестабильностью образцовой частоты, погрешностью дискретности и погрешностью запуска формирующего устройства, зависящей от соотношения сигнал/шум и не превышающей при измерении одного периода $3 \cdot 10^{-3}$ при соотношении сигнал/шум, равном 40 дБ:

$$\delta = \pm \delta_0 \pm 1/10^n T_{изм} f_0 \pm 3 \cdot 10^{-3}/10^n,$$

где $T_{изм}$ — измеряемый период; f_0 — частота импульсов заполнения.

Сигнал частоты f_0 формируется с помощью умножителей и делителей частоты из сигнала образцовой частоты внутреннего кварцевого генератора или внешнего источника. Максимальное значение f_0 определяется быстродействием элементов ЭСЧ.

В режиме суммирования электронный счетчик регистрирует общее число импульсов, сформированных из входного сигнала и прошедших через селектор. В процессе суммирования индицируется непрерывный счет, по окончании — общее число циклов входного сигнала за время между моментами t_1 и t_2 .

В режиме измерения длительности интервалов времени электронный счетчик регистрирует число импульсов, следующих с частотой f_0 через селектор, открываемый на время длительности измеряемого интервала; прибор индицирует результат в единицах времени. Разрешающая способность измерения равна $1/f_0$. Используя для запуска входных формирователей сигналы с крутым фронтом и учитывая полярность входного сигнала, можно

измерять длительность импульса, период следования, паузы между импульсами или интервал времени между двумя сигналами.

В режиме измерения отношения частот (рис. 1.70) электронный счетчик регистрирует число импульсов,

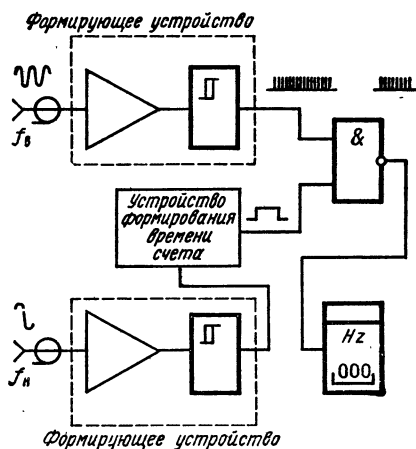


Рис. 1.70

сформированных из сигнала более высокой из сравниваемых частот и прошедших через селектор, открываемый на время одного или 10^n периодов сигнала низкой из сравниваемых частот. На табло ЭСЧ индицируется отношение частот в относительных единицах.

Погрешность измерения определяется погрешностью из-за дискретности счета и погрешностью запуска:

$$\delta = \pm f_2 / f_1 \cdot 10^n \pm 3 \cdot 10^{-3} / 10^n,$$

где f_1 и f_2 — значения высокой и низкой из сравниваемых частот соответственно.

Помимо рассмотренных режимов работы, ЭСЧ обеспечивают удобный режим контроля работоспособности основных узлов прибора. В режиме КОНТРОЛЬ ЭСЧ осуществляет измерение образцовой частоты f_0 . При нормальной работе прибор индицирует значение $N = f_0 t_{\text{сч}}$ в единицах частоты.

Устройство управления ЭСЧ обеспечивает в автоматическом режиме периодические измерения с индикацией результатов каждого измерения. При работе в режиме ПАМЯТЬ после окончания времени счета по команде ПЕРЕПИСЬ содержимое электронного счетчика передается в запоминающее устройство, непосредственно связанное с цифровой индикацией. После окончания времени индикации, которое регулируется в процессе работы в широких пределах, команда СБРОС очищает электронный счетчик и подготавливает все элементы ЭСЧ к следующему измерению. Новый цикл измерения начинается открыванием временного селектора первым после команды СБРОС сигналом в тракте формирования времени счета. Кнопочный переключатель ПУСК позволяет осуществлять ручную синхронизацию цикла измерения.

Основные группы электронно-счетных частотомеров

По своему назначению и основным характеристикам ЭСЧ подразделяются на сервисные, универсальные, специализированные. Отдельную группу представляют приборы, расширяющие функциональные возможности ЭСЧ.

Сервисные ЭСЧ являются малогабаритными приборами, отличающимися небольшими массой и потребляемой мощностью. Это делает их наиболее удобными в эксплуатации в ка-

честве переносных приборов. Благодаря максимальному использованию интегральных микросхем сервисные ЭСЧ обеспечивают повышенную надежность в работе.

В зависимости от назначения сервисные ЭСЧ могут иметь вывод информации о результатах измерения в цифровом параллельном коде для автоматической регистрации и дистанционное управление. Это позволяет ис-

пользовать их не только в качестве автономных измерительных приборов, но и в составе автоматизированных систем.

Расширение диапазона измеряемых частот в сервисных ЭСЧ осуществляется обычно с помощью встраиваемых двоичных делителей частоты. Соответствующее увеличение времени счета при этом обеспечивает непосредственный отсчет значения измеряемой частоты.

Сервисные ЭСЧ можно использовать для измерения сверхвысоких частот и различных физических величин, применяя внешние преобразователи частоты и соответствующие датчики.

Основным признаком универсальных ЭСЧ является их многофункциональность. Как правило, они обеспечивают работу во всех режимах, присущих ЭСЧ. Кроме того, конструктивное выполнение универсальных ЭСЧ позволяет использовать в них сменные блоки, что значительно расширяет функциональные возможности прибора.

Сменные блоки совместно с универсальным ЭСЧ образуют экономичные, малогабаритные, удобные в эксплуатации измерительные устройства различного назначения и улучшают эксплуатационные характеристики частотомера.

Широкополосные и избирательные усилители повышают чувствительность универсальных ЭСЧ до 1 мВ. Сменный блок диапазонного умножителя частоты увеличивает точность измерения низких частот на три порядка. Блок предварительного выбора, обеспечивая увеличение времени счета и коэффициента усреднения в N раз, деление в N раз частоты входного сигнала и предварительную установку числа N , при использовании внешних датчиков позволяет измерять различные (в том числе, не электрические) величины с представлением результата измерения в требуемых единицах.

Универсальный ЭСЧ со сменным блоком компаратора частоты обеспечивает сравнение частот высокостабильных сигналов. С преобразователем напряжение—частота он превращается в цифровой вольтметр постоянного тока, с блоком входных фор-

мирователей — в цифровой измеритель временных интервалов, а с комплектом преобразователей частоты представляет собой измеритель частоты непрерывных колебаний и несущей частоты импульсно-модулированных сигналов СВЧ диапазона.

Все универсальные ЭСЧ имеют вывод результатов в цифровом параллельном коде и дистанционное управление. Они широко используются в автоматизированных измерительных системах. Универсальные ЭСЧ входят в состав единого агрегируемого комплекса автоматизированных систем измерительной техники (ЕАКАСИТ), что гарантирует их информационную и конструктивную совместимость с другими приборами комплекса (стандартами и синтезаторами частоты, приборами управления и обработки и др.).

Специализированные ЭСЧ предназначены для замены резонансных частотомеров. Уступая универсальным ЭСЧ со сменными блоками по техническим параметрам, специализированные ЭСЧ превосходят резонансные частотомеры по точности измерения и эксплуатационным характеристикам. Специализированные ЭСЧ используются, как правило, в режиме измерения частоты.

СВЧ частотомеры этой группы, в состав которых, кроме собственно ЭСЧ, входят встроенные преобразователи частоты, обеспечивают измерение как частоты непрерывных колебаний СВЧ, так и несущей частоты импульсно-модулированных сигналов.

Индикация результатов измерения в цифровой форме и простота в эксплуатации обеспечивают широкое применение специализированных ЭСЧ. Небольшие габаритные размеры и масса, экономичность, жесткие условия эксплуатации позволяют использовать специализированные ЭСЧ в полевых условиях и на подвижных объектах.

Преобразователи частоты обеспечивают преобразование частоты исследуемого сигнала для расширения диапазона измеряемых частот или повышения функциональных возможностей ЭСЧ.

Расширение диапазона измеряемых частот ЭСЧ осуществляется преобразователями частоты, построенными по методу дискретного гетеродинного преобразования или по методу переносчика частоты.

В преобразователях дискретного типа частота исследуемого сигнала представляется в виде суммы двух составляющих: $f_x = n f_{оп} + f_{пром.}$ Значение частоты $n f_{оп}$, индицируемое на шкале преобразователя, известно с высокой точностью; значение промежуточной частоты $f_{пром.}$ измеряется электронно-счетным частотомером. Сигнал частоты $n f_{оп}$ формируется из опорного сигнала, высокостабильного по частоте, с помощью генератора спектра гармоник и избирательного фильтра. Значение f_0 должно лежать в диапазоне рабочих частот ЭСЧ. Погрешность измерения частоты с помощью преобразователей дискретного типа равна $\delta = \pm \delta_{оп} \pm 1/f_x \tau_{сч}$ ($\tau_{сч}$ — время усреднения ЭСЧ), т. е. не превышает погрешности ЭСЧ.

В преобразователях-переносчиках измеряемая частота f_x сравнивается с частотой n -й гармоники сигнала вспомогательного гетеродина частоты $f_{гет}$ и определяется с учетом промежуточной частоты $f_{пром.}$ на которой осуществляется сравнение, как $f_x = n f_{гет} \pm f_{пром.}$

Выполнение равенства контролируется с помощью внешних или встро-

енных индикаторов. Для повышения точности сличения применяется система фазовой автоподстройки частоты гетеродина по частоте исследуемого сигнала. В режиме сличения частота гетеродина измеряется электронно-счетным частотомером; значение n вычисляется или определяется автоматически.

Переносчики обеспечивают преобразование в широком диапазоне частот непрерывных и несущих частот импульсно-модулированных сигналов.

Автоматизация процесса преобразования позволяет создать автоматические измерители сверхвысоких частот.

Преобразователи частоты функциональные осуществляют приведение частот исследуемого сигнала к значению, обеспечивающему выполнение измерений таких параметров сигнала, которые измерить непосредственно ЭСЧ с присущими ему режимами работы невозможно. К таким преобразователям относятся, в частности, преобразователи частоты ЧК5-24, ЧК5-25, которые обеспечивают измерение разности фаз двух сигналов с представлением результатов измерений в градусах, преобразователь напруги — частота и др.

Конструктивно преобразователи частоты выполняются в виде сменных блоков универсальных ЭСЧ или в виде автономных приборов.

1.13. Электронно-счетные частотомеры

Диапазон частот ЭСЧ в режиме прямого счета составляет 100 МГц, а с предварительными двучинными делителями — 200 МГц. В комплекте с преобразователями СВЧ ЭСЧ позволяют измерять частоту в диапазоне до 70 ГГц. В диапазоне до 10 ГГц процесс измерения частоты полностью автоматизирован. В диапазоне 70 МГц — 70 ГГц обеспечивается измерение несущей частоты импульсно-модулированных сигналов при минимальной длительности радиоимпульсов 0,3—1 мкс. При измерениях длительности интервалов времени от

100 нс до 10^4 с достигается разрешающая способность 10 нс.

Минимальный уровень входного сигнала ЭСЧ составляет 0,1 В, преобразователей частоты 100 мкВт.

Нестабильность частоты встроенного опорного генератора ЭСЧ не превышает $\pm 2 \cdot 10^{-8}$ за сутки. Погрешность измерения сверхвысоких частот при использовании внешнего источника опорной частоты не превышает $(1-2) \cdot 10^{-10}$.

Конструктивное выполнение ЭСЧ, цифровой вывод результатов измерений в коде 8—4—2—1 и дистанцион-

ное управление обеспечивают конструктивную и информационную совместимость с аппаратурой программного управления, регистрации и обработки.

Возможность дистанционного управления и широкие измерительные возможности позволяют использовать приборы в системах, осуществляющих автоматический контроль и автоматическое измерение различных величин, а также осуществлять анализ переходных и статистический анализ случайных процессов.

Кроме основного назначения, приборы можно использовать в других отраслях промышленности и народного хозяйства для измерения различных неэлектрических величин, значение которых с помощью специальных преобразователей можно представить в виде частоты или периода следования электрических сигналов, а также длительности интервалов времени. Таким образом можно измерять количество оборотов, давление, температуру, скорость перемещения объектов, деформацию и др.

Частотомеры электронно-счетные сервисные ЧЗ-36, ЧЗ-41

Частотомеры электронно-счетные ЧЗ-36 и ЧЗ-41 (рис. 1.71, 1.72) обеспечивают автоматическое измерение частоты и периода электрических ко-

лебаний синусоидальной и импульсной формы, определение отношения частот и счет числа электрических колебаний.

Основные технические характеристики

Параметр	ЧЗ-36	ЧЗ-41
Диапазон измеряемых частот, Гц	10—5·10 ⁷	10—2·10 ⁸
Диапазон измеряемых отношений частот, Гц	$\frac{1-5 \cdot 10^7}{0-10^5}$	$\frac{10-2 \cdot 10^8}{0-10^5}$
Входное напряжение, В эфф:		
по входу А	0,1—10	0,2—20
по входу Б	0,1—10	0,1—10
Входной импеданс:		
по входу А	50 кОм, 50 пФ	50 кОм, 100 пФ
по входу Б	1 МОм, 50 пФ	1 МОм, 50 пФ
Нестабильность частоты за:		
10 мин	1,5·10 ⁻⁹	1,5·10 ⁻⁹
10 ч	—	3·10 ⁻⁹
24 ч	3·10 ⁻⁹	—
Потребляемая мощность, ВА	35	40
Условия эксплуатации:		
температура, °С	от -10 до +50	от +5 до +40
относительная влажность	до 98% при +40°С	до 95% при +30°С

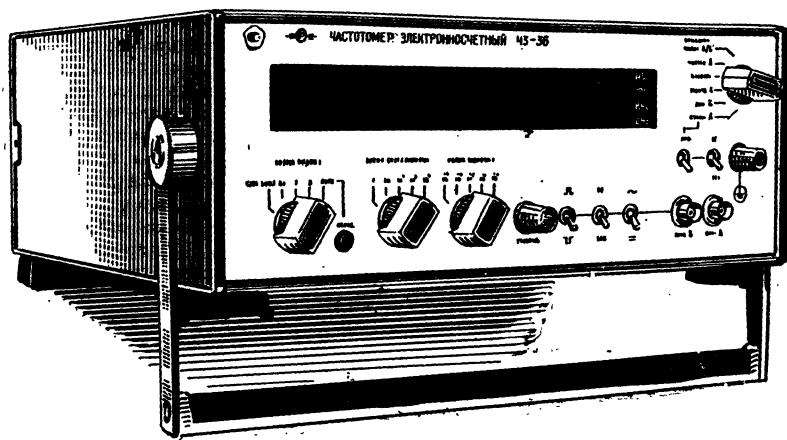


Рис. 1.71

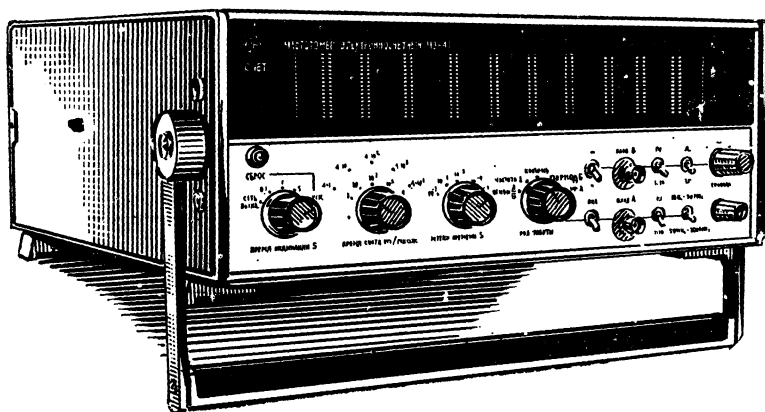


Рис. 1.72

Измерение частоты

Время усреднения 1, 10, 10², 10³, 10⁴ мс

Погрешность

$$\pm \left(\frac{\Delta f}{f} \right)_0 \pm \frac{1}{f_{\text{вх}} \tau}$$

Измерение периода

Диапазон 0—100 кГц

Погрешность

$$\pm \left(\frac{\Delta f}{f} \right)_0 \pm \frac{3 \cdot 10^{-3}}{N} \pm \frac{t_{\text{вх}}}{t_{\text{такт}} N}$$

Число измеряемых периодов N 1, 10, 10^2 , 10^3 , 10^4

Частота заполнения $f_{\text{такт}}$ 10^3 , 10^4 , 10^5 , 10^6 , 10^7 Гц

Измерение отношения частот

Погрешность

$$\pm \frac{3 \cdot 10^{-3}}{N} \pm \frac{f_2}{f_1 N}$$

Измерение интервалов времени
(прибор ЧЗ-36)

Диапазон 1 мкс — 10^4 с

Погрешность

$$\pm \left(\frac{\Delta f}{f} \right)_0 \pm \frac{1}{f_{\text{такт}} t_{\text{вх}}}$$

Разрешение 0,1 мкс

Частоты опорных сигналов 5, 10 МГц

Выход информации в коде 8-4-2-1

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В и частотой $400 \pm \frac{2}{12}$ Гц, напряжением $220(115)$ В $\pm 5\%$

Габаритные размеры

$120 \times 304 \times 308$ мм

Масса 7 кг

Принцип работы приборов (рис. 1.73) заключается в следующем. В режиме измерения частоты импульсы, вырабатываемые формирующим устройством из сигнала измеряемой частоты, поступают через селектор, открытый на время 1, 10, 100 мс; 1, 10 с, задаваемое сигналом образцовой частоты, на электронный счетчик. На цифровом табло индицируется значение частоты непосредственно в единицах частоты.

В режиме измерения периода исследуемый сигнал поступает на формирующее устройство, которое преобразует колебания в последовательность импульсов с периодом следования, равным периоду входного сигнала. Схема формирования времени счета вырабатывает импульс в 1 или 10^N (N — целое число) периодов входного сигнала, открывающий селектор. Импульсы, вырабатываемые формирующим устройством из сигнала образцовой частоты, подаются через открытый селектор на электронный счетчик.

На цифровом табло индицируется значение измеренного периода непосредственно в единицах времени. Режим измерения временных интервалов аналогичен измерению периода.

В режиме измерения отношения частот сигнал более высокой из сравниваемых частот поступает через формирующее устройство на селектор, открывающийся на 1 или 10^N периодов сигнала низкой частоты. На цифровом табло индицируется результат сравнения.

В режиме суммирования прибор регистрирует число импульсов, прошедших через селектор, который открывается и закрывается переключателем ПУСК—СТОП. На цифровом табло индицируется общее число циклов входного сигнала за время между моментами t_1 и t_2 .

Частотомеры ЧЗ-36 и ЧЗ-41 отличаются диапазоном измеряемых частот. В приборе ЧЗ-41 для измерения частоты в диапазоне 50—200 МГц дополнительно введены предварительный делитель частоты на 4 и усилитель диапазона 50—200 МГц. Для получения на цифровом табло истинного значения частоты время счета, на которое открывается селектор, увеличено в 4 раза.

Приборы имеют два сигнальных входа для основных измерений. Вход Б имеет связь по постоянному и переменному току и позволяет изменять уровень запуска входного формирувателя, что обеспечивает измерение параметров сигналов произвольной формы.

Приборы имеют ручное, автоматическое и дистанционное управление. Дистанционное управление осуществляется путем подачи потенциальных команд через разъем дистанционного управления. Информация об измеряемой величине индицируется в цифровой форме на табло прибора с указанием порядка и размерности. Одновременно результат измерения в коде 8-4-2-1 выдается на внешнее регистрирующее устройство.

Приборы выполнены на интегральных микросхемах, имеют малые габаритные размеры, массу и потребляемую мощность, удобны в эксплуатации и обслуживании.



PNC. 1.73.

Частотомеры электронно-счетные универсальные ЧЗ-38, ЧЗ-39

Частотомеры электронно-счетные ЧЗ-38, ЧЗ-39 (рис. 1.74, 1.75) являются универсальными измерительными приборами, предназначенными для автоматического измерения частоты и периода электрических колебаний синусоидальной и импульсной формы, определения отношения частот, измерения временных интервалов и постоянных напряжений, счета числа электрических колебаний

Измерение частоты

Диапазоны:

0,06—1 ГГц с блоком ЯЗЧ-41,
1—5 ГГц с блоком ЯЗЧ-42,
4—12 ГГц с блоком ЯЗЧ-43,
0,07—12 ГГц с блоком ЯЗЧ-49,
10—70 ГГц с прибором Ч5-13

Время усреднения 1, 10, 10^2 , 10^3 , 10^4 мс

Основные технические характеристики

Параметр	ЧЗ-38	ЧЗ-39
Диапазон измеряемых частот, МГц с блоком ЯЗЧ-45	0—50 50—200	10^{-6} —200
Диапазон измеряемых отношений, Гц	10^{-10^7}	10^{-10^8}
Диапазоны измеряемых интервалов времени, с	0— 10^6 10^{-6} —10	0— 10^6 10^{-7} —10
Разрешающая способность измерения интервалов времени, нс	100	10
Выходные частоты	0,1; 1; 10; 100 Гц; 1; 10; 100 кГц; 1; 5; 10 МГц	5; 10 МГц
Условия эксплуатации: температура, °С	от -10 до +50	от 5 до +40
относительная влажность	до 98% при +40° С	до 95% при +30° С
Масса, кг	17	18



Рис. 1.74

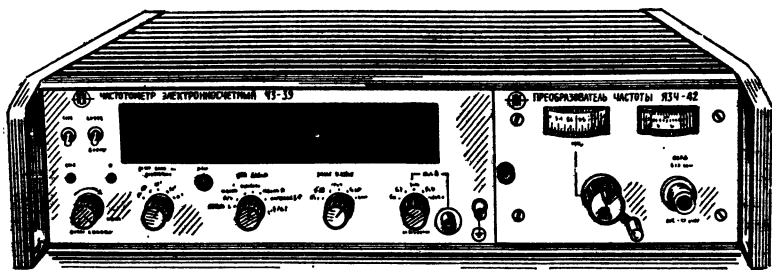


Рис. 1.75

Погрешность

$$\pm \left(\frac{\Delta f}{f} \right)_0 \pm \frac{1}{f_{\text{вх}} \tau}$$

Измерение периода

Диапазон 0—1 МГц

Погрешность

$$\pm \left(\frac{\Delta f}{f} \right)_0 \pm \frac{3 \cdot 10^{-3}}{N} \pm \frac{f_{\text{вх}}}{f_{\text{такт}} N}$$

Число измеряемых периодов N 1, 10, 10^2 , 10^3 , 10^4

Частота заполнения $f_{\text{такт}}$ 10^3 , 10^4 , 10^5 , 10^6 , 10^7 Гц

Измерение отношения частот

Погрешность

$$\pm \frac{3 \cdot 10^{-3}}{N} \pm \frac{f_2}{f_1 N}$$

Измерение интервалов времени

Погрешность

$$\pm \left(\frac{\Delta f}{f} \right)_0 \pm \frac{1}{f_{\text{такт}} t_{\text{вх}}}$$

Измерение напряжения

(прибор ЧЗ-38 с блоком ЯЗЧ-25)

Диапазон 10 мВ — 1000 В

Погрешность $\pm (0,1 + 0,1 U_{\text{к}}/U_{\text{х}}) \%$

Разрешающая способность 1 мВ

Нестабильность частоты:

$1,5 \cdot 10^{-9}$ за 10 мин;

$5 \cdot 10^{-9}$ за 24 ч

Входное напряжение:

по входу А 0,1—100 В эфф.

по входу Б 0,1—10 В эфф

Входной импеданс 10 кОм, 50 пФ

Потребляемая мощность 90 ВА

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В и частотой $400 \pm \frac{1}{2} \%$ Гц, напряжением $220(115)$ В $\pm 5 \%$

Габаритные размеры

490 × 136 × 480 мм

Принцип работы частотомеров ЧЗ-38, ЧЗ-39 (рис. 1.76) в режимах измерения частоты, периода, отношения частот, временных интервалов, счета числа импульсов аналогичен принципу работы частотомеров ЧЗ-36, ЧЗ-41. Отличительной особенностью их является то, что они могут расширять свои функциональные возможности с помощью сменных блоков. Преобразователи частоты ЯЗЧ-41, ЯЗЧ-42, ЯЗЧ-43 расширяют диапазон измеряемых частот частотомеров ЧЗ-38, ЧЗ-39 до 1; 5; 12 ГГц соответственно. Преобразователи частоты ЯЗЧ-49 и ЧЗ-13 обеспечивают измерение частоты синусоидальных и импульсно-модулированных колебаний частотомерами до 12 и 70 ГГц. Сменный блок преобразователя напряжение — частота ЯЗЧ-25 превращает электронный-счетный частотомер ЧЗ-38 в цифровой вольтметр постоянного тока.

С блоком измерения интервалов времени ЯЗЧ-45 частотомеры производят измерение интервалов времени.

Встроенный в ЯЗЧ-45 делитель частоты позволяет расширить диапазон непосредственно измеряемых частотомерами ЧЗ-38 и ЧЗ-39 частот до 200 МГц.

Два сигнальных входа обеспечивают измерение частоты, периода, отношения частот и других величин, преобра-

со стабильностью частоты внутреннего опорного генератора.

Приборы имеют восьмиразрядное табло, выполненное на цифровых газонаполненных неоновых лампах типа ИН-12. Информация об измеряемой величине индицируется с указанием порядка и размерности. Одно-

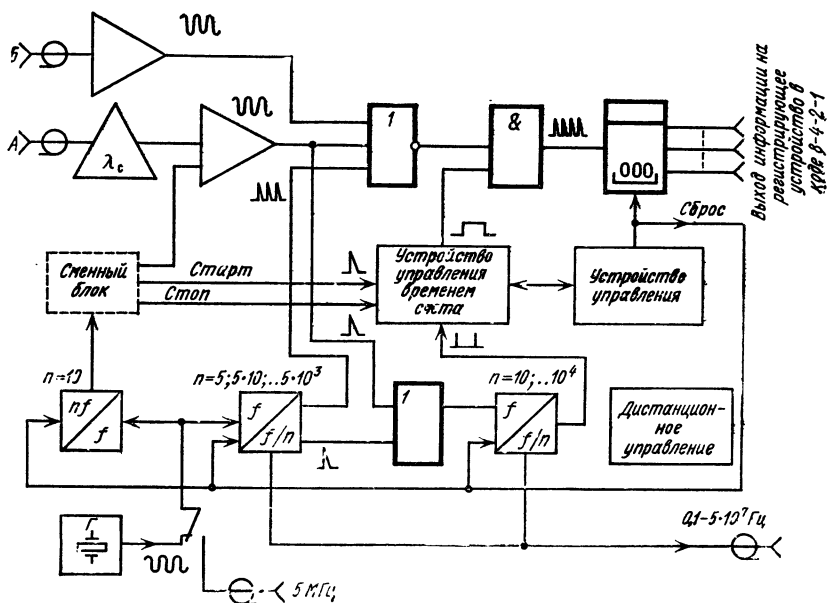


Рис. 1.76

зованных в частоту или временной интервал.

Связь входных цепей по постоянно-му и переменному току позволяет изменять уровень запуска и тем самым измерять параметры сигналов произвольной формы. В частотомерах предусмотрены опорные кварцевые генераторы с термостатированием, имеющие высокую стабильность частоты. Для проведения более точных измерений предусмотрен запуск приборов от внешнего сигнала образцовой частоты. Приборы можно использовать в качестве источников образцовой частоты

временного результата измерения выдается в коде 8-4-2-1 на внешнее регистрирующее устройство.

Приборы имеют режим внешнего пуска, позволяющий производить измерения в требуемый момент времени.

Частотомеры имеют ручное, автоматическое и дистанционное управление. Дистанционное управление осуществляется подачей потенциальных команд через разъем дистанционного управления.

Частотомеры выполнены на полупроводниковых приборах с использованием интегральных микросхем.

Частотомер электронно-счетный реверсивный ЧЗ-42

Прибор (рис. 1.77) предназначен для счета числа импульсов или периодов синусоидальных сигналов в прямом и обратном направлениях, выдачи кодированных сигналов на внешнее регистрирующее устройство, выдачи напряжений кварцовой частоты.

Счет числа импульсов
(режимы $\pm A$; $\pm B$)

Диапазон частот:

0—2 МГц (вход со связью по постоянному току),
10 Гц—2 МГц (вход со связью по переменному току)

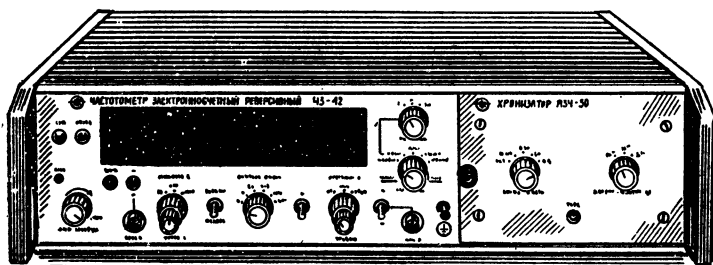


Рис. 1.77

Основные технические характеристики

Измерение частоты
(совместно с блоком ЯЗЧ-50)

Диапазон частот 10 Гц — 2 МГц
Время усреднения 1, 10, 10^2 , 10^3 , 10^4 мс
Погрешность

$$\pm \left(\frac{\Delta f}{f} \right)_{\text{оп}} \pm \frac{1}{f_{\text{вх}} \tau}$$

Цикл измерения $\tau_{\text{сч}} + t_{\text{инд}}$
Время индикации $t_{\text{инд}}$ 0,05—4 с

Измерение периода

Диапазоны частот 0,01 Гц—100 кГц
Погрешность

$$\pm \left(\frac{\Delta f}{f} \right)_{\text{оп}} \pm \frac{3 \cdot 10^{-3}}{N} \pm \frac{f_{\text{вх}}}{f_{\text{такт}} N}$$

Число периодов N 1, 10, 100
Частота заполнения $f_{\text{факт}}$ 10^6 , 10^5 , 10^4 Гц
Цикл измерения $\tau_{\text{сч}} + t_{\text{инд}}$

Емкость заполнения 0—9999999
Управление счетом:
ручное ОТКРЫТ,
ручное ЗАКРЫТ,
внешнее —12,6 В

Алгебраическое суммирование
(режимы $A \pm B$ и A/B)

Диапазон частот 0,01 Гц — 100 кГц

Самоконтроль частоты

Входное напряжение:
0,1—100 В эфф для синусоидального сигнала
0,5—100 В эфф для импульсного сигнала

Входной импеданс 50 кОм, 50 пФ
Помехозащищенность:
10 мВ эфф для синусоидальной помехи,
20 мВ для импульсной помехи

Параметры кварцевого генератора

Номинальная частота 5 МГц
Погрешность частоты:
 $\pm 1,5 \cdot 10^{-7}$ за 1 месяц,
 $\pm 2,5 \cdot 10^{-7}$ за 6 месяцев

Погрешность первоначальной установки частоты $\pm 1 \cdot 10^{-8}$

ТКЧ $\pm 1 \cdot 10^{-9}$ на 1°C

Выходная частота 5 МГц

Время самопрогрева 1 мин

Время непрерывной работы:

24 ч в нормальных условиях,

8 ч в рабочих

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В и частотой $400 \pm \frac{2}{12}$ Гц, напряжением $220(115)$ В $\pm 5\%$

Потребляемая мощность 85 ВА

Условия эксплуатации: температура от $+5$ до $+40^\circ \text{C}$, относительная влажность до 95% при $+30^\circ \text{C}$

Габаритные размеры

$490 \times 136 \times 480$ мм

Масса 18 кг

Принцип действия прибора (рис. 1.78) основан на подсчете числа импульсов за определенный интервал времени. Режим измерения частоты и периода обеспечивается классическим принципом построения частотомера. В режиме алгебраического суммирования подсчитывается количество импульсов, сформированных из вход-

ного сигнала, за время, в течение которого открыт главный селектор. В зависимости от того, в каком состоянии находится триггер знака, счетчик считает в прямом (режим суммирования) или обратном (режим вычитания) направлении.

Прибор имеет самоконтроль частот внутренних опорных сигналов (10^3 , 10^2 , 10^1 кГц) за калиброванное время счета t и самоконтроль периода времени счета при заполнении $f_{\text{такт}} = 10^3$, 10^2 , 10 кГц, что позволяет в режиме внешнего пуска отсчитывать временные интервалы от 10 мкс до 1000 ч с разрешением 1 мкс.

Прибор имеет два идентичных канала с открытым и закрытым входом. Высокая помехозащищенность по сети и по входному сигналу, обеспечиваемая применением сетевого фильтра, экранировкой входных и выходных цепей и высококачественными входными усилителями, семизначная цифровая индикация результата счета с учетом знака остатка, выход информации на регистрирующее устройство в коде 8-4-2-1 и дистанционное управление основными режимами — все

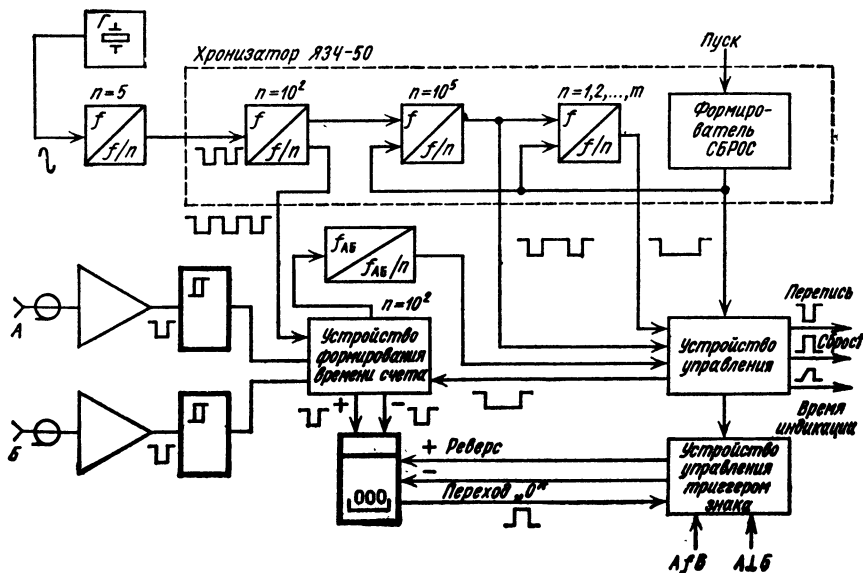


Рис. 1.78

это позволяет широко использовать прибор для разнообразных измерений.

В приборе применены унифицированные узлы (блок питания, кварцевый генератор, делитель частоты), входящие также и в другие частотомеры.

Наибольший интерес представляют режимы автоматического управления реверсом (операции A/B и $A \perp B$). В этих режимах идет непрерывное суммирование сигнала A в том или ином направлении, которое выбирается автоматически с помощью сигнала B .

В режиме A/B сигнал B воздействует на счетный блок запуска триггера знака, поочередно открывая в нем вентили сложения и вычитания, на которые непрерывно подается сигнал A . В режиме $A \perp B$ сдвиг по фазе между сигналами определяет направление счета. Если сигнал A отстаёт по фазе от B на $90^\circ \pm 10\%$, счет идет

с накоплением и наоборот, если A опережает B на $90^\circ \pm 10\%$, счет идет с убыванием.

В обоих режимах каждый последующий счет начинается с учетом знака предыдущего остатка. При этом осуществляется индикация остатка со знаком «+» или «-» на табло прибора; информация о знаке выдается также на разъем ВЫХОД ЗНАКА в виде потенциального сигнала.

Соответствующие преобразователи в режиме $A \perp B$ позволяют измерять линейные и угловые перемещения с указанием направления перемещения.

Режим A/B необходим в автоматических системах управления, например, для подстройки частоты рабочих эталонов времени и частоты.

Прибор выполнен на полупроводниковых приборах, удобен и прост в эксплуатации, может встраиваться в типовую стойку.

Частотомер электронно-счетный ЧЗ-44

Прибор (рис. 1.79) предназначен для автоматического измерения частоты непрерывных электрических колебаний.

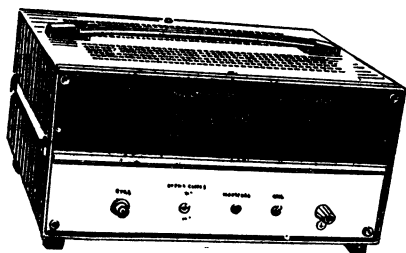


Рис. 1.79

Основные технические характеристики

Диапазон частот 100 кГц — 60 МГц

Напряжение входного сигнала

10 мВ — 10 В,

100 мВ — 100 В с внешним пробником 1:10

Изменение частоты внутреннего кварцевого генератора не более

$\pm 5 \cdot 10^{-6}$ за 1 месяц,

$\pm 1,4 \cdot 10^{-5}$ за 1 год

Время счета 10^{-3} , 10^{-2} с

Опорная частота 1 МГц

Входной импеданс 1 МОм, 30 пФ

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В, частотой $400 \pm \frac{2}{1}$ Гц, напряжением $220(115) В \pm 5\%$

Потребляемая мощность 60 ВА

Условия эксплуатации: температура от -30 до $+50^\circ\text{C}$, относительная влажность до 98% при $+40^\circ\text{C}$

Габаритные размеры

$320 \times 165 \times 327$ мм

Масса 7,5 кг

Прибор содержит основные элементы электронно-счетного частотомера, обеспечивающие режим измерения частоты (рис. 1.80).

В режиме измерения частоты входной сигнал через истоковый повторитель, усилитель, открытую схему И1, формирующее устройство поступает на селектор. Истоковый повторитель обеспечивает входное сопротивление прибора, равное 10 МОм. Формирующее устройство формирует нормиро-

ванный по уровню и временным параметрам сигнал, частота которого равна частоте входного сигнала. Через открытый селектор сигнал поступает на электронный счетчик. Содержимое счетчика по окончании счета индицируется на пятиразрядном цифровом табло.

Селектор открывается сигналом с триггера СТРОБ. Длительность стробирующего импульса равна периоду меток времени, поступающих с декадных делителей через схемы И5, И6.

В приборе предусмотрено измерение при времени счета 10^{-3} и 10^{-2} с, которое устанавливается переключателем ВРЕМЯ СЧЕТА на передней панели прибора. При этом подается управляющее напряжение, открывающее одну из схем: И5 или И6. Через открытую схему на триггер СТРОБ поступают импульсы с выхода третьего или четвертого декадного делителей.

В режиме КОНТРОЛЬ счетный блок измеряет частоту сигнала внутреннего или внешнего опорного источника частотой 1 МГц. При этом сигнал поступает на формирующее устройство через открытые схемы И2, И3, а схема И1 закрывается, предотвращая возможность прохождения на формирующее устройство входного сигнала. На табло при исправной работе прибора индицируется значение частоты 1 МГц.

В частотомере предусмотрен выход сигнала внутреннего кварцевого генератора на разъем, расположенный на задней панели прибора. Прибор выполнен на интегральных микросхемах.

Частотомер ЧЗ-44 применяется для настройки, калибровки, испытаний приемопередающей аппаратуры, фильтров, генераторов и других устройств. Он заменяет резонансный частотомер Ч2-1А, гетеродинные частотомеры Ч4-1, Ч4-9.

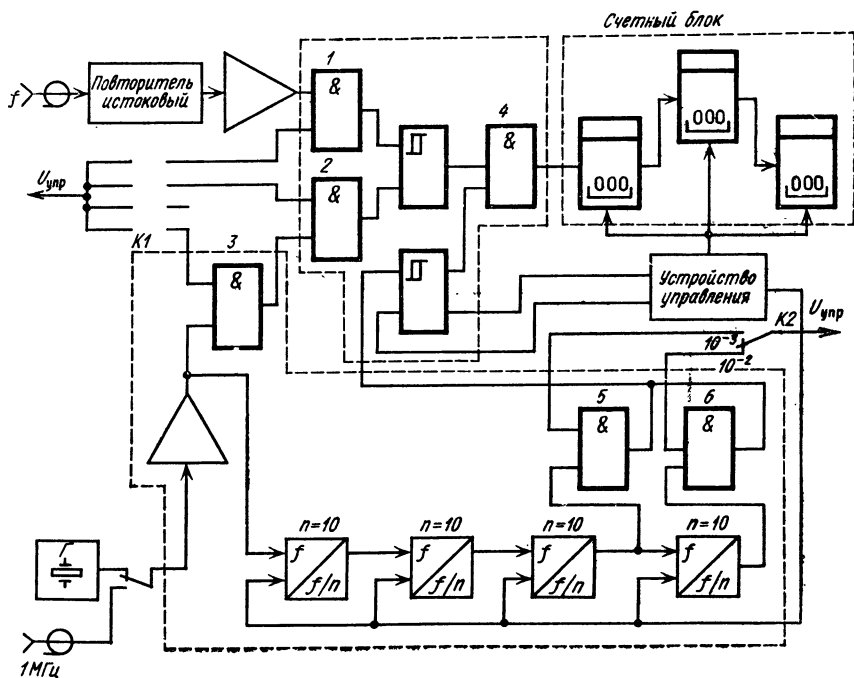


Рис. 1.80

Частотомеры электронно-счетные ЧЗ-45, ЧЗ-46, ЧЗ-51

Частотомеры (рис. 1.81, 1.82) предназначены для измерения среднего значения частоты непрерывных сигналов и несущей частоты импульсно-модулированных сигналов.

Погрешность измерения частоты сигналов:

непрерывных $\pm \delta_0 \pm 1/f_{изм} \tau_{сч}$, где δ_0 — погрешность по частоте источника опорного сигнала,

ИМ $\pm 5 \cdot 10^{-4} \pm 1/f_{изм} \tau_{сч}$

Основные технические характеристики

Параметры	ЧЗ-45	ЧЗ-46	ЧЗ-51
Диапазон измеряемых частот сигналов, МГц	40—2000	(1,5—12,4) · 10 ³	—17,44) × 10 ³
непрерывных, ИМ	100—2000		
Величина входного сигнала, мВт	0,15—5	0,2—5	0,3—5
Время счета, с	10 ⁻² , 10 ⁻⁴	10 ⁻² , 10 ⁻⁶	10 ⁻⁶
Частота следования импульсов	0,05—200	0,05—200	0,25—50
ИМ сигнала, кГц			
Потребляемая мощность, ВА	70	70	75

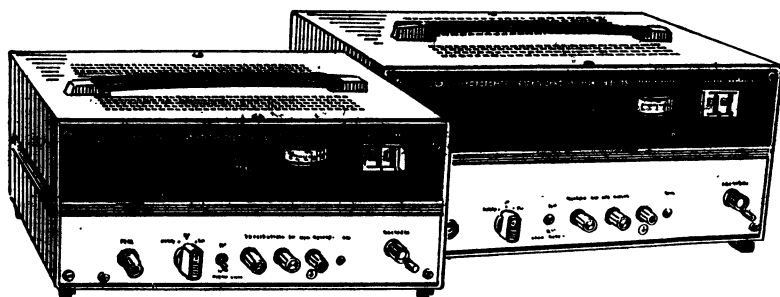


Рис. 1.81

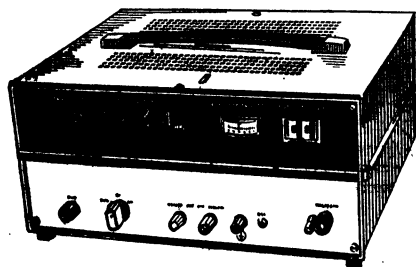


Рис. 1.82

Относительная погрешность по частоте внутреннего кварцевого генератора:

$\pm 5 \cdot 10^{-6}$ за 1 месяц

$\pm 1,4 \cdot 10^{-5}$ за 1 год

Длительность радиопульсов ИМ сигнала более 0,3 мкс

Сквозность 2—1000

Опорная частота 1 МГц

Входное сопротивление 50 Ом

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В; частотой $400 \pm 2\%$ Гц, напряжением $220(115)$ В $\pm 5\%$

Условия эксплуатации. температура от -30 до $+50^{\circ}\text{C}$, относительная влажность до 98% при $+40^{\circ}\text{C}$

Габаритные размеры

$380 \times 367 \times 185$ мм

Масса 12 кг

Основными функциональными частями частотомеров (рис. 1.83) являются преобразователи частоты, построенные по принципу переносчика частоты, и счетный блок, построенный по схеме электронно-счетного частотомера в режиме измерения частоты.

Принцип измерения основан на сличении частоты исследуемого сигнала с частотой одной из гармоник сигнала перестраиваемого гетеродина и последующем измерении частоты гетеродина счетным блоком с учетом номера гармоники. Сличение осуществляется путем смешивания исследуемого сигнала со спектром гармоник сигнала гетеродина. В качестве смесителя используется балансный стробоскопический смеситель, совмещенный с генератором спектра гармоник на диоде с накоплением заряда. Диапазон измеряемых частот обеспечивается конструкцией смесителя и диапазоном частот гетеродина. В ЧЗ-45 используется гетеродин, перестраиваемый в диапазоне $30-60$ МГц, в ЧЗ-46 — в диапазоне $105-122$ МГц, в ЧЗ-51 — в диапазоне $170-180$ МГц.

В режиме измерения частоты непрерывных колебаний обеспечивается высокая точность сличения благодаря применению фазовой автоподстройки частоты гетеродина по частоте входного сигнала. Выходной сигнал постоянного тока смесителя поступает на управляющий элемент гетеродина, поддерживая равенство $f_{\text{изм}} = n f_{\text{гет}}$, где n — номер гармоники, на которой осуществляется преобразование: $f_{\text{гет}}$ — частота сигнала гетеродина в режиме синхронизации. Контроль режима синхронизации осуществляется по стрелочному прибору, показывающему наличие и уровень управляющего напряжения. Номер рабочей гармоники определяется по двум значениям частоты гетеродина, измеренным счетным блоком прибора в режиме синхронизации на гармониках двух соседних номеров

$$(f_{\text{гет}1} = f_{\text{изм}}/n, \quad f_{\text{гет}2} = f_{\text{изм}}/n \pm 1)$$

по формуле

$$n = f_{\text{гет}2} / (f_{\text{гет}1} - f_{\text{гет}2})$$

с округлением до ближайшего целого числа. Быстродействие счетного блока 60 МГц. Поэтому в приборе ЧЗ-45 частота гетеродина измеряется непосредственно счетным блоком; в приборах ЧЗ-46 и ЧЗ-51 в трактах сигнала гетеродина и формирователя времени счета используются делители частоты с коэффициентами 2 и 4 соответственно. Для обеспечения прямого отсчета значения измеряемой частоты на табло прибора в тракте формирования времени счета применен делитель с переменным коэффициентом деления.

В режиме измерения (отсчета) с помощью кодового переключателя НОМЕР ГАРМОНИКИ на передней панели прибора устанавливается коэффициент деления, равный n , если измерение производится при настройке на $f_{\text{гет}1}$; при измерении с настройкой на $f_{\text{гет}2}$ на переключателе устанавливается значение $n+1$ при $f_{\text{гет}2} < f_{\text{гет}1}$ и $n-1$ при $f_{\text{гет}2} > f_{\text{гет}1}$.

В режиме определения номера гармоники измерения производится при установке кодового переключателя в положение 01. При измерении нижних частот диапазона переключатель ВРЕМЯ СЧЕТА устанавливается в положение 10^{-2} с; при измерении верхних частот — в положение 10^{-4} с в ЧЗ-45 и 10^{-5} с в ЧЗ-46. Погрешность измерения определяется погрешностью установки номинального значения частоты кварцевого генератора и погрешностью дискретности счета, составляющей 100 Гц при времени счета 10^{-2} с, 10 кГц при 10^{-4} с и 100 кГц при 10^{-5} с.

В режиме измерения несущей частоты импульсно-модулированных сигналов сличение контролируется по стрелочному индикатору на передней панели прибора. Режиму сличения соответствует максимальное отклонение стрелки индикатора вправо. Возможен контроль сличения по нулевым биениям, наблюдаемым на экране внешнего осциллографа, подключен-

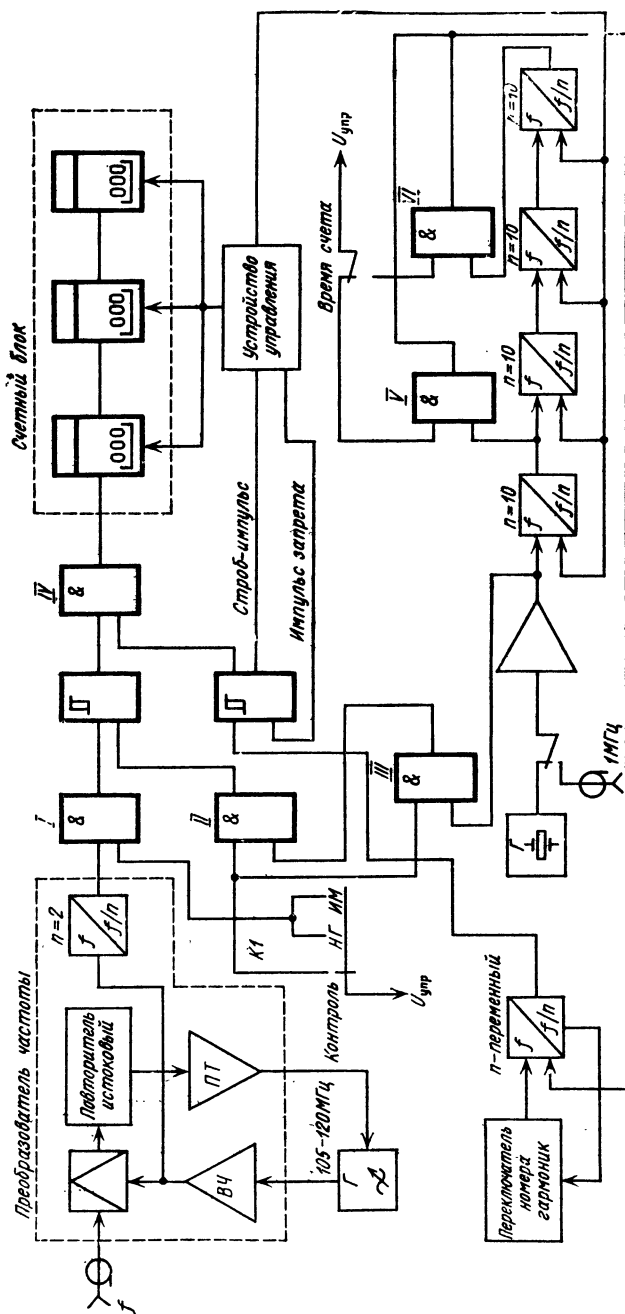


Рис. 1.83

ного к выходу усилителя постоянного тока. Ширина полосы пропускания усилителя в этом режиме порядка 3 МГц, что обеспечивает практически неискаженную передачу выходного сигнала, имеющего форму видеопульсов, при длительности не более 0,3 мкс.

Определение номера рабочей гармоники и отсчет результата измерения производится так же, как и в режиме измерения частоты непрерывных колебаний.

Погрешность измерения несущей частоты ИМ сигналов, помимо погрешности из-за дискретности счета, содержит погрешность сличения. Последняя зависимость от длительности радиопульса и при использовании внешнего осциллографического индикатора сличения может быть снижена до 10—20 кГц при длительности импульса более 5—10 мкс. С помощью осциллографа можно оценить среднее изменение несущей частоты в импульсе и от импульса к импульсу.

Приборы обеспечивают выход сигнала внутреннего кварцевого генератора частоты 1 МГц и возможность

работы от внешнего источника опорного сигнала частоты 1 МГц.

Для проверки работы счетного блока предусмотрен режим контроля, при котором на табло прибора индицируется значение частоты 1 или n МГц (значение n устанавливается на кодовом переключателе).

Счетный блок рассматриваемых частотомеров аналогичен счетному блоку частотомера ЧЗ-44.

Частотомеры ЧЗ-45, ЧЗ-46, ЧЗ-51 применяются для настройки, калибровки, контроля и испытаний при производстве радиоаппаратуры и при эксплуатации в цеховых, полевых условиях и на подвижных объектах.

Частотомер ЧЗ-45 заменяет резонансные частотомеры ЧЗ-2А, ЧЗ-3А, ЧЗ-4А, ЧЗ-4М, ЧЗ-8, частотомер ЧЗ-46 — частотомеры ЧЗ-9А, ЧЗ-32, ЧЗ-33, ЧЗ-34, ЧЗ-35, ЧЗ-36, ЧЗ-37, а частотомер ЧЗ-51 заменяет резонансный частотомер ЧЗ-31.

По точности измерений и эксплуатационным характеристикам электронно-счетные частотомеры ЧЗ-51, ЧЗ-45, ЧЗ-46 значительно превосходят резонансные.

Преобразователь частоты автоматический ЧЗ-12

Преобразователь (рис. 1.84) предназначен для автоматического деления частоты входного сигнала в 10^2 или 10^3 раз.

Основные технические характеристики

Диапазон частот входных синусоидальных сигналов 0,4—10 ГГц

Уровень входного сигнала:

0,2—5 мВт в диапазоне 0,4—8 ГГц,

0,3—5 мВт в диапазоне 8—10 ГГц

Диапазон частот выходного сигнала 1—10 МГц

Напряжение выходного сигнала 0,1 В

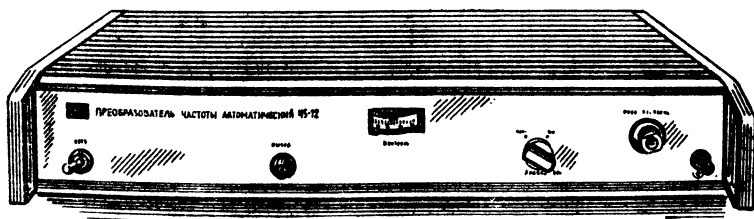


Рис. 1.84

Погрешность измерения частоты (при работе с электронно-счетным частотомером):

$$\pm \delta_0 \pm 10^2 / f_x \tau_{\text{сч}} \quad \text{в диапазоне } 0,4 - 1 \text{ ГГц},$$

$$\pm \delta_0 \pm 10^3 / f_x \tau_{\text{сч}} \quad \text{в диапазоне } 1 - 10 \text{ ГГц},$$

где δ_0 — погрешность по частоте источника опорного сигнала; $\tau_{\text{сч}}$ — время счета частотомера

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В

Потребляемая мощность 60 ВА

Условия эксплуатации: температура от $+5$ до $+40^\circ\text{C}$, относительная влажность до 95% при $+30^\circ\text{C}$

Габаритные размеры

$$480 \times 80 \times 475 \text{ мм}$$

Масса 18 кг

Принцип действия прибора (рис. 1.85) основан на двухканальном преобразовании частоты исследуемого сигнала. В первом канале осуществляется преобразование частоты на гармониках сигнала гетеродина с фазовой синхронизацией последнего по частоте входного сигнала. Выходной сигнал смесителя через усилитель постоянного тока и фильтр нижних частот поступает на управляющий эле-

мент гетеродина, обеспечивая выполнение равенства $f_x = n f_{\text{гет1}}$, где n — номер гармоники сигнала гетеродина, на которой осуществляется преобразование; $f_{\text{гет}}$ — частота сигнала гетеродина; f_x — частота входного сигнала.

Во втором канале осуществляется преобразование частоты на n -й гармонике сигнала второго гетеродина, частота которого связана с частотой сигнала первого гетеродина соотношением

$$f_{\text{гет2}} = f_{\text{гет1}} - f_{\text{гет1}}/N,$$

где N — постоянный коэффициент, устанавливаемый равным 10^2 или 10^3 .

В результате частота выходного сигнала второго смесителя

$$f_{\text{вых}} = f_x - n f_{\text{гет2}} = f_x / N,$$

т. е. в N раз меньше частоты входного сигнала. Поскольку N выражается числом, кратным 10, то результат измерения частоты выходного сигнала преобразования с помощью ЭСЧ численно равен значению частоты входного сигнала с поправкой на порядок числа N .

Необходимое соотношение между частотами гетеродинов обеспечивается за счет внутреннего кольца ФАПЧ,

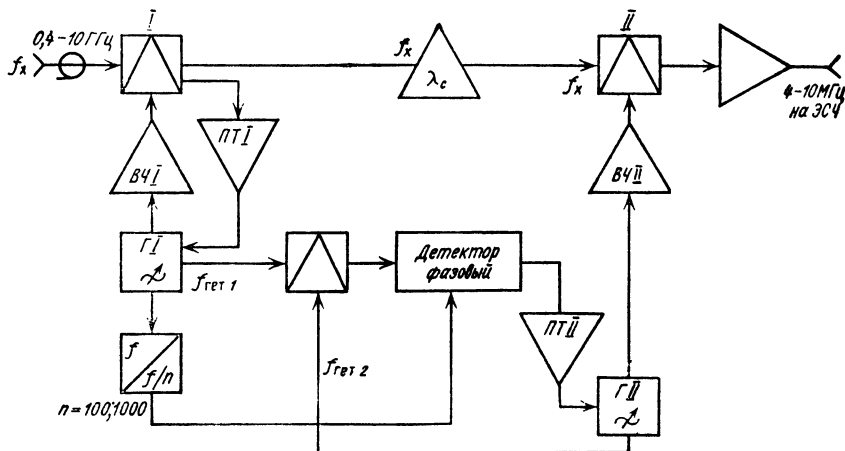


Рис. 1.85

включающего делитель частоты сигнала первого гетеродина с коэффициентом N . На фазовый детектор поступают сигнал промежуточной частоты, полученный в результате смешивания сигналов двух гетеродинов, и выходной сигнал делителя. Выходной сигнал фазового детектора управляет частотой второго гетеродина.

Входной сигнал поступает одновременно на смесители обоих каналов преобразователя, которые включены последовательно через ступенчатый аттенюатор 6 дБ. Смесители выполнены с балансной схемой и сопряжены с генераторами спектров гармоник. Смеситель первого канала выполняет функции фазового детектора. Выход смесителя второго канала широкополосный.

Введение гетеродина первого канала в режим синхронизации по частоте входного сигнала осуществляется автоматически путем электронной перестройки частот гетеродинов в диапазоне 60—75 МГц. Требуемая зависимость между частотами гетеродинов достигается сопряженной перестройкой обоих гетеродинов. Контроль режима синхронизации производится по стрелочному индикатору КОНТРОЛЬ, расположенному на передней панели прибора. При достижении режима синхронизации движение стрелки индикатора, имеющее место в режиме

поиска, прекращается. При этом сигнал перестройки гетеродинов отключается, режим синхронизации поддерживается за счет управляющего сигнала системы ФАПЧ.

Погрешность измерения частоты с использованием преобразователя Ч5-12 определяется погрешностью измерения частоты выходного сигнала второго смесителя с помощью внешнего ЭСЧ:

$$\delta = \pm \delta_0 \pm 1/f_{\text{вых}} \tau_{\text{сч}} = \pm \delta_0 \pm N/f_x \tau_{\text{сч}}.$$

Значение N устанавливается равным 10^2 в диапазоне входных частот 0,4—1 ГГц и 10^3 в диапазоне 1—10 ГГц с помощью переключателя ДИАПАЗОН на передней панели прибора.

При измерении частоты гнездо ВЫХОД преобразователя подключается ко входу электронно-счетного частотомера, работающего в режиме ЧАСОТА.

Значение измеряемой частоты считывается с табло частотомера с учетом поправки на порядок коэффициента N .

Преобразователь частоты Ч5-12 применяется в комплекте с электронно-счетным частотомером с быстродействием не менее 10 МГц для автоматического измерения среднего значения частоты непрерывных колебаний в диапазоне СВЧ.

Преобразователь частоты Ч5-13

Преобразователь (рис. 1.86) предназначен для преобразования частоты непрерывных сигналов и несущей час-

тоты ИМ сигналов, лежащих в диапазоне 10—70 ГГц, в диапазон 3,3—5 ГГц, а в комплекте с преобразова-

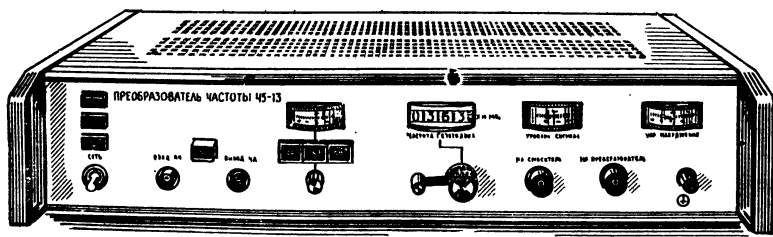


Рис. 1.86

телем частоты ЯЗЧ-42 и электронно-счетным частотомером ЧЗ-38 (ЧЗ-39) для измерения частоты непрерывных сигналов и несущей частоты ИМ сигналов в диапазоне 10—70 ГГц.

Основные технические характеристики

Диапазон частот входных сигналов 10—70 ГГц

Диапазон частот выходного сигнала 3,3—5 ГГц

Уровень входного сигнала:

0,1—5 мВт в диапазоне частот 10—37,5 ГГц,

0,5—5 мВт в диапазоне частот 37,7—70 ГГц

Уровень выходного сигнала ≥ 200 мкВт

Опорная частота 1; 5 МГц

Полоса удержания 0,01%

Погрешность измерения частоты сигналов:

непрерывных $\delta_0 \pm 1$ ед. счета ЭСЧ.
импульсно-модулированных

$$\delta_0 \pm \frac{10 \text{ кГц}}{f_x (\text{кГц})} \pm 10^{-6} \text{ при } \tau_{\text{и}} > 10 \text{ мкс.}$$

$$\pm \frac{50 \text{ кГц}}{f_x (\text{кГц})} \pm 10^{-6} \text{ при } \tau_{\text{и}} < 10 \text{ мкс}$$

Минимальная длительность радиоимпульса 1 мкс

Частота следования 100 Гц—10 кГц
Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В; частотой $400 \pm \frac{2}{10}$ Гц, напряжением 115(220) В $\pm 5\%$

Потребляемая мощность 70 ВА

Условия эксплуатации: температура от -10 до $+50^\circ\text{C}$, относительная влажность до 98% при $+40^\circ\text{C}$

Габаритные размеры

$$480 \times 120 \times 475 \text{ мм}$$

Масса 18 кг

Принцип работы прибора (рис 1.87) основан на сличении частоты исследуемого сигнала с частотой одной из гармоник сигнала гетеродина, перестраиваемого в диапазоне 3,3—5 ГГц, образующих в диапазоне 10—70 ГГц дискретный спектр.

Диапазон рабочих частот перекрывается пятью сменными смесителями. Смесители представляют собой отрезки прямоугольного волновода сечением 17×8 мм (10—17,44 ГГц), $11 \times 5,5$ мм (17,44—25,86 ГГц), $7,2 \times 3,4$ мм (25,86—37,50 ГГц), $5,2 \times 2,6$ мм (37,50—53,57 ГГц) и $3,6 \times 1,8$ мм (53,57—70 ГГц), плавно пере-

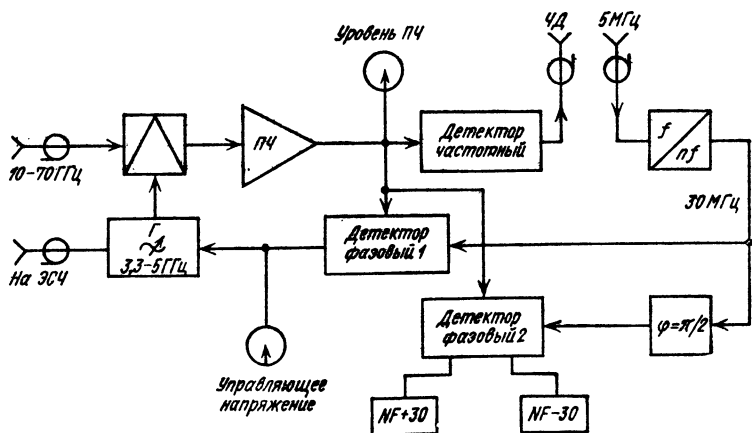


Рис. 1.87

ходящие в П-образный волновод у короткозамкнутого конца. Диод, размещенный у закороченного конца смесителя, совмещает функции генератора спектра и смесителя. Для удобства подключения к источнику сигнала смесители выполнены в виде выносных узлов. Соединения с выходом гетеродина и входом УПЧ, расположенными в преобразователе, осуществляются с помощью кабелей.

В режиме преобразования частоты непрерывных колебаний прибор обеспечивает высокую точность преобразования за счет использования фазовой автоподстройки частоты гетеродина по частоте входного сигнала. Выходной сигнал смесителя через УПЧ поступает на фазовый детектор, где производится сравнение по фазе с сигналом опорной частоты 30 МГц. Выходной сигнал фазового детектора воздействует на частоту гетеродина, обеспечивая равенство $f_x = n f_{\text{гет}} \pm \pm 30 \text{ МГц}$ (n — номер гармоники, на которой осуществляется преобразование). Поправка на $\pm 30 \text{ МГц}$ соответствует преобразованию на прямом или зеркальном каналах соответственно. Наличие режима синхронизации контролируется по стрелочным приборам, показывающим уровень сигнала промежуточной частоты и сигнала управления. При использовании преобразователя для измерения частоты значение номера гармоники определяется по двум значениям частоты гетеродина в режиме синхронизации на прямом

мониторинга легко определяется по значению частоты гетеродина, отсчитываемому по шкале преобразователя. Для удобства работы на передней панели прибора расположены световые индикаторы канала преобразования ($N + 30$ и $N - 30$), которые управляют сигналами с фазового детектора.

Погрешность преобразования частоты непрерывных колебаний определяется погрешностью установки номинального значения и нестабильностью частоты внешнего источника сигнала опорной частоты 1 или 5 МГц.

В режиме преобразования несущей частоты ИМ сигналов сличение осуществляется с помощью внешнего осциллографического индикатора, подключенного к выходу частотного детектора. Частота настройки детектора равна 30 МГц и калибруется по частоте опорного сигнала. Выходной сигнал детектора имеет форму видеопульсов, амплитуда которых пропорциональна величине, а полярность соответствует знаку расстройки. Совпадение вершины импульсов с линией развертки осциллографа соответствует равенству несущей частоты ИМ сигнала частоте гармоники сигнала гетеродина с поправкой на $\pm 30 \text{ МГц}$. Основная составляющая погрешности преобразования несущей частоты ИМ сигнала определяется погрешностью сличения, которая в зависимости от длительности радиоимпульсов составляет $10 - 50 \text{ кГц}$, и нестабильностью частоты гетеродина за время сличения, которая не превышает $\pm 1 \cdot 10^{-6}$ за время измерения.

Преобразователь частоты Ч5-13 в комплекте с частотомером ЧЗ-38 (или ЧЗ-39) и блоком ЯЗЧ-42 обеспечивает измерение среднего значения частоты непрерывных сигналов в диапазоне $10 - 70 \text{ ГГц}$ с погрешностью $(2 - 3) \cdot 10^{-10}$. Это позволяет использовать прибор для калибровки шкал измерительных генераторов, измерения нестабильности частоты, частотной дестабилизации источников СВЧ сигналов. Помимо измерения несущей частоты ИМ сигналов, преобразователь позволяет также измерять изменение частоты в импульсе и от импульса к импульсу, длительность и частоту следования радиоимпульсов.

$$(f_{\text{гет}1} = (f_x - 30 \text{ МГц})/n) \text{ и зеркальном}$$

$$(f_{\text{гет}2} = (f_x + 30 \text{ МГц})/n) \text{ каналах по формуле}$$

$$n = 60 \text{ МГц} / (f_{\text{гет}2} - f_{\text{гет}1})$$

с округлением до ближайшего целого числа. Если значение измеряемой частоты неизвестно, то значения $f_{\text{гет}1}$ и $f_{\text{гет}2}$ должны быть измерены с высокой точностью (частотомер ЧЗ-38 с блоком ЯЗЧ-42). Если частота приблизительно известна, то номер гар-

Преобразователи частоты ЧК5-24, ЧК5-25

Преобразователи (рис. 1.88, 1.89) в комплекте с электронно-счетным частотометром предназначены для измерения разности фаз двух сигналов.

Основные технические характеристики

Диапазон частот прибора:

ЧК5-24 0,1—10 МГц,

ЧК5-25 500 Гц — 200 кГц

Напряжение входных сигналов
0,01 — 10 В

Выходная частота:

по выходу А 1 МГц,

по выходу Б 277,7(7) Гц

Напряжение выходных сигналов не менее 0,1 В на нагрузке 10 кОм

Измеряемая разность фаз 0—360°

Погрешность измерения:

$\pm 1^\circ$ при соотношении напряжений входных сигналов 0,9—1,1,

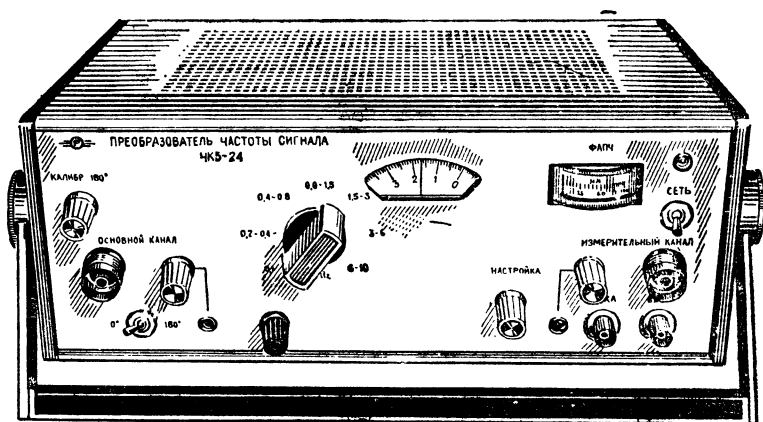


Рис. 1.88

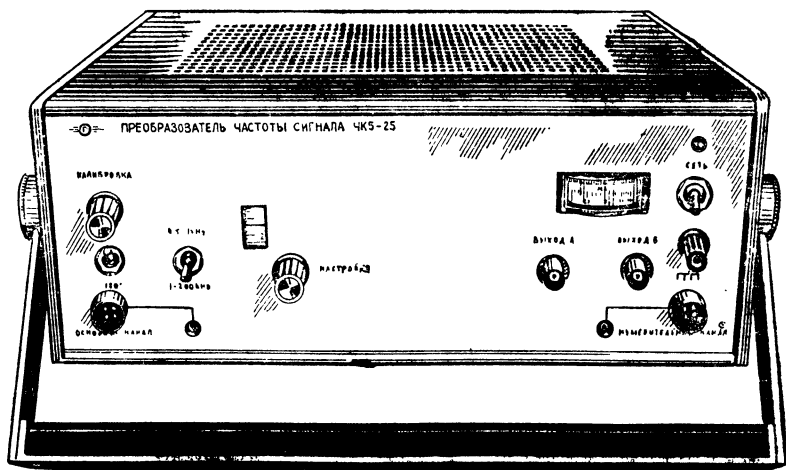


Рис. 1.89

$\pm 1,5\%$ в диапазоне 0,5—1 кГц и $\pm 1\%$ в диапазоне 1—200 кГц для прибора ЧК5-25, $\pm 5\%$ для прибора ЧК5-24 при соотношении входных сигналов 40 дБ.

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В

Потребляемая мощность 30 ВА

Условия эксплуатации: температура от $+5$ до $+40^\circ\text{C}$; относительная влажность до 95% при $+30^\circ\text{C}$

Габаритные размеры

$334 \times 328 \times 130$ мм

Масса 15 кг

Принцип работы приборов (рис. 1.90) основан на преобразовании частоты сравниваемых по фазе сигналов в

фиксированной частоты 277,7(7) Гц, разность фаз которых равна разности фаз входных сигналов. Эти сигналы используются для формирования интервала времени, равного задержке одного сигнала относительно другого и заполняемого тактовыми импульсами опорной частоты 1 МГц. Число импульсов измеряется по входу А ЭСЧ, для синхронизации цикла измерения которого выходной сигнал одного из каналов подается на вход Б. Результат измерения равен разности фаз входных сигналов, выраженной, благодаря выбору значения промежуточной частоты 277,7(7) Гц и частоты тактовых импульсов 1 МГц, в градусах.

Введение преобразования позволя-

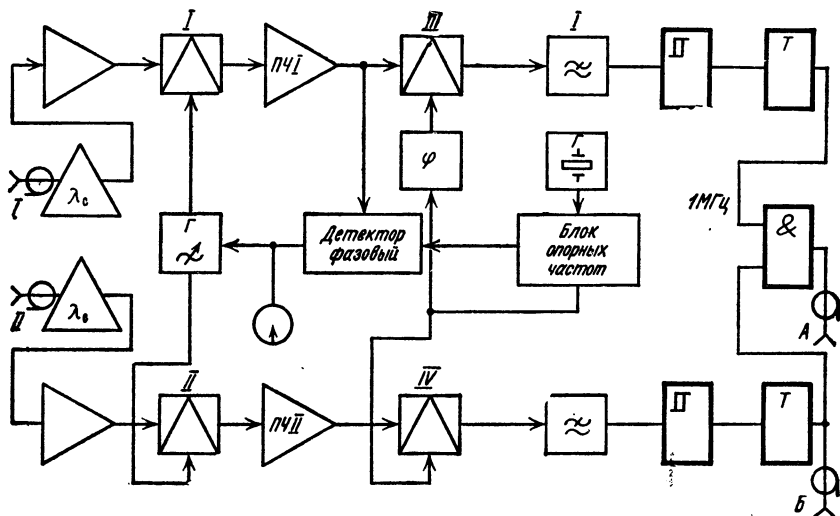


Рис. 1.90

фиксированную промежуточную частоту, формировании временного интервала и измерении его путем заполнения тактовыми импульсами опорной частоты.

Сигналы, разность фаз которых измеряется, поступают на два идентичных канала; в обоих каналах осуществляется преобразование частоты исследуемых сигналов, в результате которого получаются два сигнала

ет расширить длительность временного интервала и тем самым увеличить точность измерения при невысокой (1 МГц) частоте заполнения. Постоянство выходной частоты устраняет зависимость погрешности измерения, вызванной дискретностью измерения (счета), от частоты входных сигналов.

В каждом канале осуществляется двойное преобразование частоты. В первой ступени исследуемые сигнала

лы смешиваются с сигналом общего для обоих каналов гетеродина. В приборе ЧК5-24 гетеродин перестраивается в диапазоне 0,127—10,027 МГц. С помощью фазовой автоподстройки частоты гетеродина по частоте входного сигнала значение промежуточной частоты поддерживается равным 27,7(7) кГц с точностью до опорной частоты. Во второй ступени преобразования сигналы первой промежуточной частоты смешиваются с сигналом частоты 27,5 кГц, полученным путем преобразования сигнала опорной частоты 1 МГц. В результате получаются два сигнала с частотой 277,7(7) Гц, разность фаз которых равна разности фаз входных сигналов и стабильность частоты которых определяется стабильностью частоты опорного генератора.

В приборе ЧК5-25 гетеродин перестраивается в диапазоне 500—700 кГц, а первая промежуточная частота равна 500 кГц. Во второй ступени преобразования сигналы частоты 500 кГц смешиваются с сигналом частоты 500 277,7(7) Гц, полученным преобразованием сигнала опорной частоты 1 МГц. В результате также получаются два сигнала с частотой 277,7(7) Гц, разность фаз которых равна разности фаз входных сигналов. Отношение периода выходных сигналов и периода меток заполнения равно 3600; это обеспечивает индикацию результатов измерения в угловых единицах — градусах с разрешением 0,1°.

Сигналы опорных частот 27,7(7) кГц и 500 кГц, поступающие на фазовые детекторы первых ступеней преобра-

зования приборов ЧК5-24 и ЧК5-25 соответственно, а также сигналы с частотами 27,5 кГц и 500 277,7(7) Гц, используемые во вторых ступенях преобразования, формируются из сигнала кварцевого генератора в блоке опорных частот.

Подключение преобразователей частоты к исследуемому устройству осуществляется с помощью внешних пробников. В приборе ЧК5-24 введена световая индикация для контроля минимального уровня входного сигнала; в приборе ЧК5-25 для защиты входных усилителей введены индикаторы перегрузки. Фазовращатель в тракте опорной частоты второй ступени преобразования первого канала служит для идентификации каналов.

Грубая настройка гетеродина производится по шкале прибора. Режим синхронизации контролируется по стрелочному прибору.

Совместно с электронно-счетным частотомером преобразователи частоты ЧК5-24 и ЧК5-25 применяются для фазовых измерений, например, в телевидении, радиосвязи, радионавигации и т. п. при выполнении измерительных и контрольных операций. Они позволяют измерять разность фаз двух сигналов, электрическую длину линий передачи, фазовые характеристики радиотехнических устройств (четырехполосников), а также применяются для калибровки фазовращателей, фазовых детекторов, при исследовании устройств с обратной связью.

Кроме рассмотренных, имеется еще ряд моделей ЭСЧ, краткие характеристики которых приведены в табл. 1.7 и 1.8.

1.14. Классификация сменных блоков к электронно-счетным частотомерам

Сменные блоки расширяют функции и повышают технические характеристики. Они преобразуют частоты СВЧ диапазона в диапазон непосредственного счета ЭСЧ, усиливают напряжение и умножают частоты входных измеряемых сигналов, сличают

временные интервалы, преобразуют постоянное или медленно меняющееся напряжение в частоту.

Сменные блоки к ЭСЧ в основном являются преобразователями частоты и усилителями напряжений входных сигналов. Они характеризуются диа-

Основные технические характеристики	чз-12	чз-32	чз-31	чз-35
Диапазон измеряемых частот	10 Гц—10,5 МГц до 120 МГц (с устройством ИЗ-14)	10 Гц—3 МГц	10 Гц—120 МГц 0,12—4 ГГц (с блоком ЯЗЧ-51)	10 Гц—50 МГц
Диапазон частот при измерении периода	10 Гц—100 кГц	10 Гц—100 кГц	0,01 Гц—100 кГц	0,01 Гц—100 кГц
Диапазон измеряемых интервалов времени, с	10^{-6} — 10^2	10^{-5} — 10^{-2}	10^{-7} — 10^2	10^{-6} — 10^2
Разрешающая способность, нс	± 100	$\pm 10^3$	—	± 100
Пределы измерения отношения частот	—	$\frac{10 \text{ Гц} - 3,5 \text{ МГц}}{10 \text{ Гц} - 100 \text{ кГц}}$	$\frac{10 \text{ Гц} - 20 \text{ МГц}}{0,01 \text{ Гц} - 100 \text{ кГц}}$	$\frac{10 \text{ Гц} - 50 \text{ МГц}}{0,01 \text{ Гц} - 100 \text{ кГц}}$
Напряжение входного сигнала, В:				
синусоидального,	0,1—100	0,1—100	0,1—100	0,1—100
импульсного	0,3—100	—	0,5—100	0,3—100
Нестабильность частоты кварцевого генератора за 1 сут	$\pm 3 \cdot 10^{-8}$	$\pm 6 \cdot 10^{-6}$	$\pm 5 \cdot 10^{-9}$	$\pm 3 \cdot 10^{-8}$
Входной импеданс:				
при измерении частоты,	50 кОм/50 пФ	—	15 кОм/80 пФ	15 кОм/80 пФ
при измерении периода	50 кОм/50 пФ	—	1 кОм/100 пФ	1 кОм/100 пФ
Потребляемая мощность, ВА	150	—	100	100
Габаритные размеры, мм	$500 \times 400 \times 344$	$300 \times 100 \times 300$ 9	$480 \times 120 \times 420$ 22	$480 \times 120 \times 420$ 22
Масса, кг	38			
Погрешность измерения: частоты,			$\pm \delta_0 \pm 1 \text{ ед. чз}$	
периода			$\pm \delta_0 \pm \frac{3 \cdot 10^{-3}}{n} \pm \frac{f_{\text{вх}}}{f_{\text{такт}} n}$	

Примечание: приборы не обременены возможностью дистанционного управления

Таблица 1.8

Основные технические характеристики	Ф551	Ф552	Ф571	Ф576
Диапазон измеряемых частот	10 Гц — 200 кГц	0,1 Гц — 1,5 МГц	0,1 Гц — 20 МГц	10 Гц — 20 МГц
Диапазон частот при измерении периода	10 Гц — 100 кГц	0,1 Гц — 1 МГц	0,1 Гц — 1 МГц	10 Гц — 100 кГц
Диапазон измеряемых интервалов времени и длительности импульсов, с	10^{-4} — 10^4	10^{-5} — 10^5	10^{-6} — 10^5	—
Пределы измеряемых отношений частот, с	—	—	1:1 — $2 \cdot 10^6:1$	—
Диапазон измеряемых отклонений частоты от установленного значения	—	—	—	до 100%
Входной сигнал, В	1 — 150	0,1 — 100	0,1 — 100	1 — 100
Нестабильность частоты кварцевого генератора, δ_0	$\pm 4 \cdot 10^{-5}$ за 1 месяц	$\pm 5 \cdot 10^{-5}$ за 1 сут.	$\pm 1 \cdot 10^{-7}$ за 10 сут.	$\pm 5 \cdot 10^{-6}$
Время счета, с	—	0,01; 0,1; 1; 10; 100	0,001; 0,01; 0,1; 1; 10; 100	0,1; 1
Входной импеданс	20 кОм	50 кОм/50 пФ	50 кОм/50 пФ	50 кОм/5 пФ
Потребляемая мощность, ВА	60	80	100	100
Габаритные размеры, мм	$490 \times 370 \times 200$	$490 \times 355 \times 290$	$490 \times 375 \times 290$	$535 \times 190 \times 370$
Масса, кг	12	16	18	15
Погрешность измерения:				
частоты		$\pm \delta_0 \pm 1$ ед. сч	$\pm \delta_0 \pm 1$ ед. сч	
периода		$\pm \delta_0 \pm \frac{1}{10^{-3}}$	$\pm \delta_0 \pm \frac{1}{n}$	
интервала		$\pm \delta_0 \pm 1$ ед. сч	$\pm \delta_0 \pm 1$ ед. сч	

Примечание. 1. Погрешность измерения отклонения частоты прибором Ф576 $(1-5) \cdot 10^{-5}/\tau$ сч. 2. Пределы отношений частот, измеряемых прибором Ф571, от 1 до $2 \cdot 10^6$. 3. Диапазон отклонений частоты от установленного значения, измеряемых прибором Ф576, до 100%. 4. Все приборы могут иметь дистанционное управление.

пазоном частот входных и выходных сигналов (диапазоном преобразуемых частот), коэффициентом деления частоты, уровнями входных и выходных сигналов, погрешностью преобразования, способом отсчета и его погрешностью, уровнем автоматизации.

В основу построения преобразователей частоты положены методы дискретного гетеродинного преобразования (рис. 1.91, а) и переноса частот. При дискретном гетеродинном преобразовании частота исследуемого сигнала представляется в виде суммы двух составляющих. Значение одной из них известно и считывается со шкалы вставного блока, значение второй измеряется ЭСЧ. Операция преобразования заключается в смешении исследуемого сигнала с гармоникой сигнала высокостабильной частоты и выделении разностной (промежуточной) частоты, значение которой лежит в диапазоне частот, измеряемых ЭСЧ.

В преобразователях применяются высокочастотные перестраиваемые фильтры, широкодиапазонные смесители и генераторы гармоник. Такие преобразователи позволяют измерять частоты электронно-счетным частотомером в СВЧ диапазоне с погрешностью 10^{-9} — 10^{-11} и разрешающей способностью 1 Гц за время измерения 1 с. Верхняя частота преобразуемых частот 18 ГГц. Метод дискретного гетеродинного преобразования применим не только к сигналам непрерывной генерации, но и к ЧМ сигналам с девиацией частоты 5—100 МГц.

Работа блока преобразователя-переносчика частоты основана на сравнении измеряемой частоты с частотой сигнала гетеродина или частотами его гармоник. Сравнение производится визуально по индикатору или автоматически с использованием системы ФАПЧ (при этом гетеродин вводится в режим синхронизации с частотой исследуемого сигнала). Частота гетеродина измеряется ЭСЧ, ЭСЧ с блоком переноса частоты наряду с полуавтоматическим измерением частоты непрерывной генерации может измерять несущую частоту ИМ сигналов. Погрешность измере-

ния частоты ЭСЧ с блоком переноса составляет 10^{-6} — 10^{-8} . Разрешающая способность 10—100 Гц за время измерения 1 с.

Особенностями блоков переноса являются широкий диапазон преобразования частот (0,1—12 ГГц и 12—70 ГГц) и возможность измерения

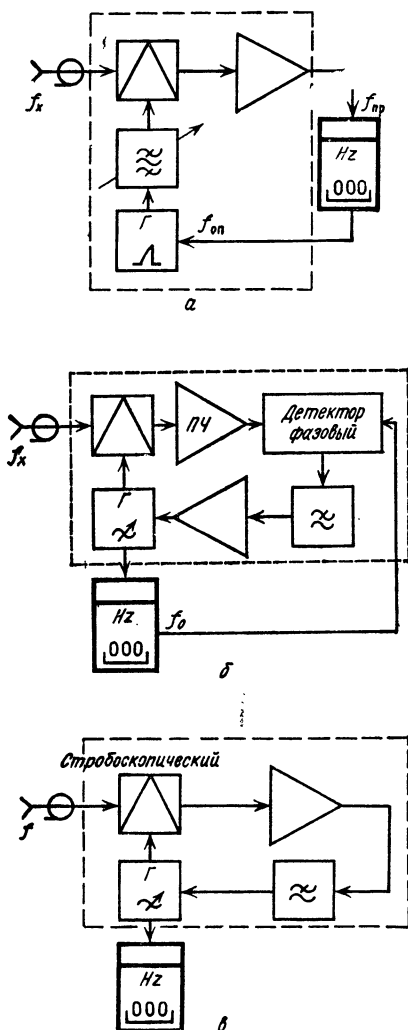


Рис. 1.91

в комплекте совместно с ЭСЧ длительности импульсов, частоты импульсов ИМ сигналов и ряда параметров АМ и ЧМ сигналов в СВЧ диапазоне.

Блок с предварительным делением измеряемой частоты расширяет диапазон ЭСЧ в 4—8 раз. Коэффициент деления связан с верхней рабочей частотой счетной декады ЭСЧ. Непосредственная индикация измеряемой частоты на цифровом табло ЭСЧ обеспечивается изменением времени счета ЭСЧ, которое формируется вставным блоком в зависимости от коэффициента деления. С увеличением коэффициента деления время измерения увеличивается в коэффициент деления раз.

Повышение чувствительности ЭСЧ до 1 мВ осуществляется блоком широкополосного усилителя.

Блоки специального назначения измеряют временные интервалы, кратковременную нестабильность частоты сигналов. Формируют спектр гармоник высокостабильных по частоте сигналов, преобразуют постоянное напряжение в частоту.

Дискретные гетеродинные преобразователи состоят из пяти основных функциональных узлов (рис. 1.91). Сигнал опорной частоты, поступающий от ЭСЧ, формируется путем умножения частоты кварцевого генератора или внешнего высокостабильного по частоте генератора частотой 1 или 5 МГц. От спектра этого сигнала в основном зависит погрешность измерения частоты ЭСЧ с преобразованием. Из усиленного сигнала опор-

ной частоты генератор гармоник формирует сигнал с частотами, кратными опорной частоте. Ухудшения стабильности частоты и спектральной чистоты опорного сигнала связаны с генератором гармоник и незначительны, так как они определяются нестабильностью частоты и фазы, возникающей в усилителях и умножителях частоты.

Генератор гармоник создает высокостабильные сигналы в заданном диапазоне частот. Основным элементом его является диод с накоплением заряда, который обеспечивает резкое изменение тока, протекающего через диод, и индуктивность связи генератора гармоник с фильтром. С помощью фильтра выделяется одна из гармоник опорного сигнала n и подавляются нежелательные $n-1$, $n+1$ составляющие спектра (рис. 1.92). Тип фильтра зависит от конкретных технических требований: от коэффициента перекрытия по диапазону перестройки, ослабления соседних гармоник, минимального количества паразитных настроек и т. д. Так как чаще всего основным техническим требованием является возможно больший коэффициент перекрытия, то в СВЧ диапазоне следует отдать предпочтение четвертьволновому отрезку коаксиальной линии с емкостью на разомкнутом конце. Такие резонаторы обладают хорошими электрическими и механическими свойствами. Перестройку осуществляют изменяя длину внутреннего проводника коаксиального резонатора. При этом частота настройки в начале диапазона изменяется за счет изменения емкости, в средней части диапазона — за счет совместного изменения емкости и электрической длины линии, в конце диапазона — за счет изменения электрической длины линии.

Полоса пропускания широкополосного усилителя должна удовлетворять условию $\Pi = f_{\text{в}} - f_{\text{н}} \geq f_0$, где $f_{\text{в}}$ и $f_{\text{н}}$ — верхняя и нижняя частоты полосы пропускания; f_0 — опорная частота. Широкая полоса преобразованных частот накладывает жесткие требования на смеситель. Для уменьшения комбинационных частот, значения которых удовлетворяют неравенству $f_{\text{н}} \leq \pm p f_0 \pm q f_x \leq f_{\text{в}}$, где f_x — изме-

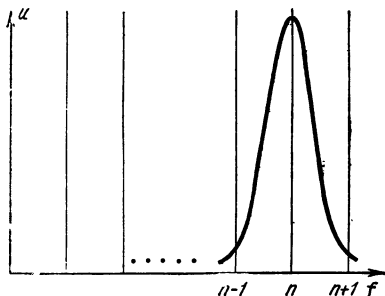


Рис. 1.92

ряемая частота, p и q — целые числа от 1 до 10, т. е. эти частоты входят в полосу усиления широкополосного усилителя, применяются балансные смесители. В зависимости от соотношения частоты исследуемого сигнала и частоты гармоник возможны несколько режимов измерения:

1. Частота измеряемого сигнала больше частоты n -й гармоники, но меньше $(n+1)$ -й, и разность между измеряемой частотой и частотой сигнала $(n-1)$ -й гармоники больше верхней граничной частоты широкополосного усилителя (рис. 1.93).

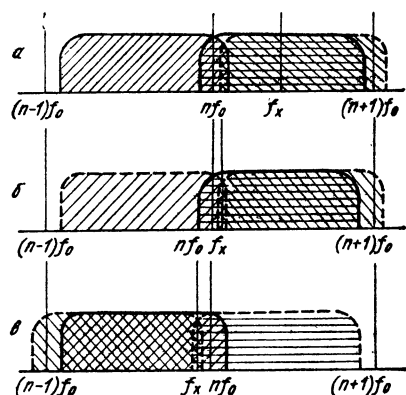


Рис. 1.93

Фильтр может быть настроен на частоту $n f_0$, тогда $f_x = n f_0 + f_{пр}$ ($f_{пр}$ — частота преобразователя), или частоту $(n+1) f_0$, тогда $f_x = (n+1) f_0 - f'_{пр}$, при этом $f_{пр} + f'_{пр} = f_0$. Измеряемая частота может быть отсчитана при настройке на одну из этих гармоник.

Переносчики частоты

Часто, исходя из конкретных технических требований, предъявляемых к выходному сигналу и его частотному диапазону, переносчики частоты выполняются с кольцом ФАПЧ гетеродина по частоте измеряемого сигнала (рис. 1.91, б). В смесителе смешиваются частоты измеряемого сигнала

2. Частота измеряемого сигнала больше частоты n -й гармоники высококостабильного сигнала, но разность между измеряемой частотой и частотой $(n-1)$ -й гармоники меньше верхней граничной частоты, пропускаемой широкополосным усилителем. Тогда

$$f_x = n f_0 + f_{пр}, \quad f_x = (n+1) f_0 - f'_{пр}, \\ f_x = (n-1) f_0 + f'_{пр},$$

т. е. возможны измерения при настройке перестраиваемого фильтра на частоту любой из трех гармоник: $(n-1)$ -й, n -й и $(n+1)$ -й. При этом

$$f_{пр} + f'_{пр} = f_0, \quad f''_{пр} - f_{пр} = f_0$$

3. Частота измеряемого сигнала больше частоты $(n-1)$ -й гармоники опорного сигнала и меньше частоты n -й гармоники, но разность между измеряемой частотой и частотой $(n+1)$ -й гармоники опорного сигнала меньше верхней граничной частоты широкополосного усилителя. Тогда

$$f_x = (n-1) f_0 + f'_{пр}, \quad f_x = n f_0 - f_{пр}, \quad f_x = \\ = (n-1) f_0 - f'_{пр}.$$

т. е., как и в предыдущем случае, возможны измерения при настройке перестраиваемого фильтра на частоту любой из трех: $(n-1)$ -й, n -й и $(n+1)$ -й гармоник сигнала. При этом также выполняются условия

$$f_{пр} + f_{пр} = f_0, \quad f'_{пр} - f_{пр} = f_0.$$

В любом из режимов измерения частота исследуемого сигнала (измеряемая частота) определяется выражением $f_x = n f_0 \pm f_{пр}$.

с одной из гармоник гетеродина. На фазовый детектор поступают сигналы промежуточной частоты и опорного кварцевого генератора частотомера. Сигнал ошибки с фазового детектора через фильтр нижних частот подается на управляющий элемент. Режим синхронизации может индиферировать

различными способами: по фигуре Лиссажу на электронно-лучевой трубке, по гальванометру, включенному на выходе фазового детектора, или специальным световым индикаторным устройством. В режиме синхронизации частота гетеродина измеряется электронно-счетным частотомером. Среднее значение измеряемой частоты равно

$$f_x = f_{\text{гет}} m \pm f_{\text{пром}},$$

где m — номер гармоники частоты гетеродина переносчика; $f_{\text{пром}}$ — значение промежуточной частоты системы ФАП.

При измерении частоты гетеродина с помощью преобразователя частоты дискретного действия $f_x = (nf_0 + f_{\text{пр}}) m \pm f_{\text{пром}}$.

Если измеряемая частота f_x неизвестна, то номер гармоники определяется по двум измерениям частоты гетеродина на прямом ($f_{\text{пром}} = f_x - mf'_{\text{гет}}$) и зеркальном ($f_{\text{пром}} = mf'_{\text{гет}} - f_x$) каналах и рассчитывается по формуле

$$m = 2f_{\text{пром}} / (f'_{\text{гет}} - f''_{\text{гет}}).$$

При перестройке частоты гетеродина с «прямого» канала на «зеркальный» частота измеряемого сигнала может измениться на некоторую величину Δf , что приведет к ошибке в определении номера гармоники m . Поэтому необходимо, чтобы $\Delta f < f_{\text{пром}}/m$.

С помощью описанного вставного блока измеряют среднее значение частоты преобразованного сигнала, причем в преобразованном сигнале присутствуют только те фазовые и частотные составляющие флуктуации измеряемого сигнала, которые находятся в полосе системы ФАП. Кроме того, данная система переноса обеспечивает деление в m раз не только измеряемой частоты, но и частотных флуктуаций, в результате чего переносчик частоты имеет в m раз лучшую помехозащищенность, чем преобразователь с дискретным гетеродинным преобразованием. Достоинством переносчика частоты является возможность измерения не только среднего значения частоты непрерывных колебаний в широком диапазоне частот с высокой

точностью, но и возможность измерения среднего значения несущей частоты ИМ сигналов, девяности частоты ЧМ сигналов. Кроме того, переносчики частоты, построенные по такому принципу, имеют высокую чувствительность, так как она определяется коэффициентом усиления УПЧ, который может достигать 10000—50000, и потерями в смесителе.

При использовании стробоскопического смесителя структурная схема прибора упрощается и принимает вид, показанный на рис. 1.91, в.

При выполнении фазовой синхронизации выполняется условие $f_x = mf'_{\text{гет}}$. Номер гармоники определяется путем измерений частоты гетеродина в режиме фазовой синхронизации на соседних двух гармониках. Для непосредственного отсчета измеряемой частоты на табло ЭСЧ время счета частоты гетеродина увеличивается в m раз при помощи набора требуемой величины на кодовом переключателе. Основным преимуществом таких переносчиков является широкий частотный диапазон — 8 октав, равномерная чувствительность в рабочей полосе частот, полуавтоматический режим работы, простота структурной схемы, малые габаритные размеры и масса.

В автоматическом преобразователе частоты электрических колебаний с автоматическим увеличением времени измерения частотомера в m раз (рис. 1.94) исследуемый сигнал поступает одновременно на смесители I и II. На второй вход смесителя I подается сигнал гетеродина. Сигнал разностной частоты между измеряемой частотой и частотой гармоники сигнала гетеродина после усиления в УПЧ детектируется в фазовом детекторе высокостабильным сигналом f_0 . Управляющий сигнал через фильтр нижних частот поступает на реактивный элемент гетеродина и блок перестройки частоты гетеродина. С помощью блока перестройки частота гетеродина в режиме поиска автоматически перестраивается. В режиме синхронизации системы ФАП $f_{\text{гет}} = (f_x - f_0)/m$. Этот сигнал поступает на блок смещения частоты, в котором формируется сигнал с частотой $f_{\text{гет}} + f_{\text{см}}$, где $f_{\text{см}}$ — известная с высокой точностью частотой

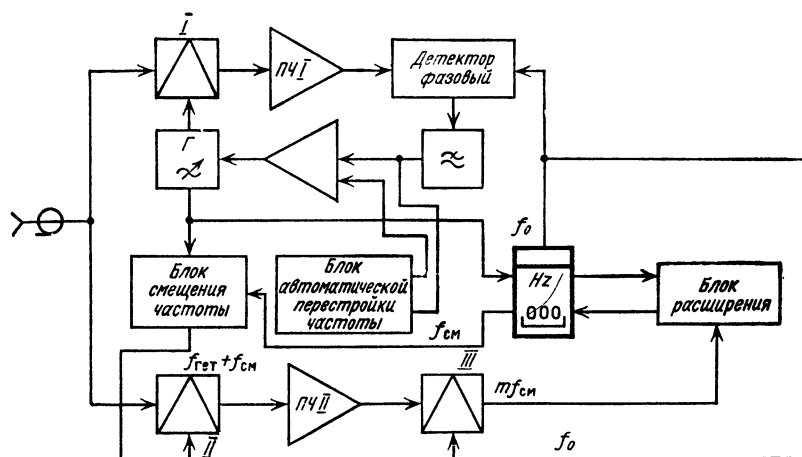


Рис. 1.94

та смещения, удовлетворяющая условиям

$$t_{\text{см}} \ll t_{\text{гет}} \text{ и } t_{\text{см}} \ll t_0$$

В смесителе II исследуемый сигнал на m -й гармонике смешивается с сигналом $f'_{\text{гет}}$. При этом выделяется сигнал промежуточной частоты $f'_{\text{пром}} = f_x - mf'_{\text{гет}}$. Сигнал на выходе смесителя III, на который поступают сигналы с частотами $f'_{\text{пром}}$ и f_0 , имеет частоту, равную $f = (f'_{\text{пром}} - f_0) = mf_{\text{см}}$,

и используется для увеличения времени счета (усреднения) τ' частотомера в m раз. Показание частотомера равно $N = f_{\text{гет}}(m\tau')$, где $m\tau' = \tau$ — время усреднения. Величина τ' выбирается в зависимости от значения f_x , требуемого времени усреднения τ и точности измерений. В табл. 1.9 приведены возможные значения τ и погрешности измерений, обусловленные дискретностью действия частотомера при различных значениях f_x и τ' для $f_{\text{гет}} = 80$ —100 МГц.

Таблица 1.9

f_x , Гц	$f_{\text{гет}}$, МГц	m	τ' , с	τ , с	$\delta \pm 1 = 1/f_{\text{гет}} \tau$
0,4	80	5	0,01	0,05	$2,5 \cdot 10^{-7}$
			0,1	0,5	$2,5 \cdot 10^{-8}$
			1	5	$2,5 \cdot 10^{-9}$
2	80	25	0,001	0,025	$5 \cdot 10^{-7}$
			0,01	0,25	$5 \cdot 10^{-8}$
			0,1	2,5	$5 \cdot 10^{-9}$
10	100	100	0,0001	0,01	10^{-6}
			0,001	0,1	10^{-7}
			0,1	10	10^{-9}

1.15. Сменные блоки к электронно-счетным частотомерам

Все сменные блоки используются совместно с серийно выпускаемыми ЭСЧ 43-38, 43-39. Преобразователи частоты ЯЗЧ-41, ЯЗЧ-42, ЯЗЧ-43, построенные по методу дискретного преобразования, работают в диапазоне от 0,06 до 12 ГГц и применяются при измерениях частот непрерывных сигналов.

Преобразователи-переносчики Ч5-13, ЯЗЧ-49 измеряют как сигналы непрерывной генерации, так и сигналы ИМ колебаний в диапазоне 0,1—70 ГГц. При этом ЭСЧ измеряют среднее значение несущей частоты.

Преобразователь частоты ЯЗЧ-49 имеет нулевую промежуточную частоту, что позволяет применять его для измерения ЭСЧ девиации частоты ЧМ сигналов. На табло ЭСЧ непосредственно индицируется величина девиации. Погрешность измерения девиации частоты с помощью ЭСЧ менее 2%, тогда как у существующих измерителей девиации 5—7%.

Измерения интервалов времени (время между двумя какими-либо мгновенными значениями двух независимых сигналов или одного сигнала), длительности импульса, интервала между импульсами, времени задержки, временных характеристик апериодического переходного процесса, разности фаз сигналов осуществляются ЭСЧ со сменным блоком ЯЗЧ-45. Измеряемые временные интервалы 1 мкс — 10^5 с с разрешением 10 и 100 нс. Измерение разности фаз двух сигналов, имеющих одинаковые частоты и амплитуды, производится через измерение интервала времени.

Усилитель широкополосный ЯЗЧ-31 совместно с ЭСЧ может встраиваться в системы, осуществляющие автоматический контроль и измерение частотных и временных параметров сигналов в каналах с малым уровнем сигнала (порядка 1 мВ).

Для оценки кратковременной нестабильности частоты во временной области применяются системы, содержащие ЭСЧ, работающие в режиме измерения периода. Разрешающая способность оценки кратковременной нестабильности частоты прямо пропорциональна погрешности измерения периода электронно-счетным частотомером.

Сменный блок ЯЗЧ-25 превращает ЭСЧ в цифровой вольтметр. В этом случае ЭСЧ измеряет постоянные напряжения от 1 мВ до 1000 В с погрешностью 0,1% ± 1 счета.

В диапазоне от 1 кГц до 10 ГГц приемники и анализаторы спектра можно градуировать с помощью сменного блока ЯЗЧ-61.

При измерении электронно-счетным частотомером частоты 20 Гц—200 кГц точность измерения можно повысить до $5 \cdot 10^{-6}$ — $5 \cdot 10^{-7}$.

Все приборы обладают единым конструктивным исполнением и обеспечивают непосредственное механическое и электрическое соединение с ЭСЧ. Уровни входных и выходных сигналов ЭСЧ, подаваемых на блок, и уровни выходных сигналов блока едины. Любой из блоков можно использовать самостоятельно без ЭСЧ непосредственно по назначению, подав соответствующее питание и необходимые сигналы.

Преобразователь напряжение—частота ЯЗЧ-25

Прибор (рис. 1.95) предназначен для преобразования постоянного напряжения в последовательность импульсов с последующим измерением их электронно-счетным частотомером (43-38, 43-39).

Основные технические характеристики

Напряжение входного сигнала
1 мВ — 100 В
Входное сопротивление:

1 МОм на пределах 10 В, 100 В,
10 МОм на пределе 1000 В

Погрешность преобразования не более $\pm(0,1 + 0,05 U_n/U_x) \%$, где U_n — значение установленного предела, U_x — значение преобразуемого напряжения.

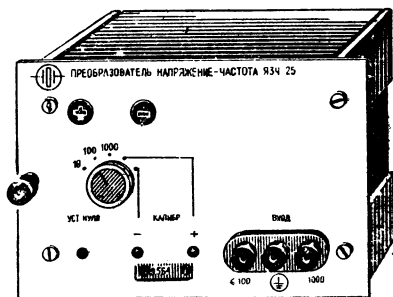


Рис. 1.95

Частота выходного сигнала 10 кГц.
Питание. +200 В $\pm 10\%$, 2мА;
+20 В $\pm 1\%$, 100мА; +12,6 В $\pm 1\%$,
100 мА; -12,6 В $\pm 1\%$, 130 мА

Потребляемая мощность 5,5 ВА

Условия эксплуатации: температура
от +10 до +50°С, относительная
влажность до 95% при +30°С

Габаритные размеры

158×108×242 мм

Масса 2 кг

Принцип интегрирования, положенный в основу работы преобразователя (рис. 1.96, 1.97), позволяет подавлять помехи последовательного вида, период которых равен или кратен времени измерения. Прибор обеспечивает коэффициент подавления помехи с частотой сети $50 \pm 0,5$ Гц более 45 дБ при длительности измерения 1 с. Прибор расширяет возможности частотомеров: позволяет их использовать в качестве цифровых вольтметров, измеряющих среднее значение входного напряжения. Он имеет знаковую индикацию полярности входного сигнала и выдает на частотомер информацию об установленном пределе измерения для включения на табло частотомера десятичной точки. Выдает результа-

ты измерения в виде двоично-десятичного кода уровней напряжения постоянного тока, что позволяет использовать его вместе с печатающим устройством и в качестве преобразователя аналоговых величин в цифровой код. Имеется два вида запуска: ручной и

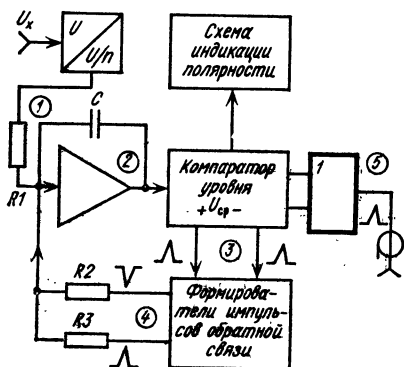


Рис. 1.96

автоматический. Прибор имеет дистанционное управление. Выбор полярности автоматический, пределов — ручной.

Преобразователь ЯЗ4-25 совместно с электронно-счетным частотомером позволяет упростить и ускорить процесс измерения электрических напряжений и может быть использован в автоматических системах контроля и управления процессами.

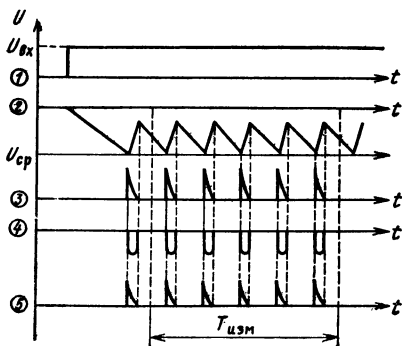


Рис. 1.97

Усилитель широкополосный ЯЗЧ-31

Усилитель (рис. 1.98) предназначен для усиления синусоидальных электрических сигналов с последующим измерением частоты усиленного сигнала электронно-счетным частотомером ЧЗ-38.

схеме истокового повторителя. Прибор позволяет усиливать как синусоидальные сигналы, так и импульсные любой полярности. Величина входного сигнала регулируется ступенчатым регулятором с шагом 10 дБ и макси-

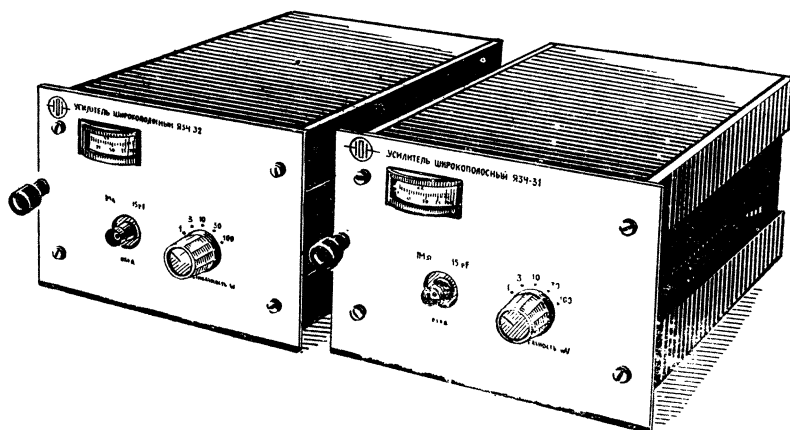


Рис. 1.98

Основные технические характеристики

Диапазон частот 0,1—50 МГц
 Напряжение входного сигнала:
 1 мВ — 100 мВ,
 0,1—10 В с дополнительным аттенуатором
 Напряжение выходного сигнала
 100 мВ на $R_n = 50 \text{ Ом}$
 Неравномерность амплитудно-частотной характеристики не более 3 дБ
 Входной импеданс 1 МОм, 15 пФ
 Питание: $\pm 12,6 \text{ В} \pm 1\%$, 30 мА
 Потребляемая мощность 1 Вт
 Габаритные размеры
 158×108×242 мм
 Масса 1,6 кг

Усилитель (рис. 1.99) состоит из трех каскадов, выполненных по схеме с общим эмиттером и отрицательной обратной связью. Высокое входное сопротивление обеспечивается полем транзистором, включенным по

схеме истокового повторителя. Прибор позволяет усиливать как синусоидальные сигналы, так и импульсные любой полярности. Величина входного сигнала регулируется ступенчатым регулятором с шагом 10 дБ и макси-

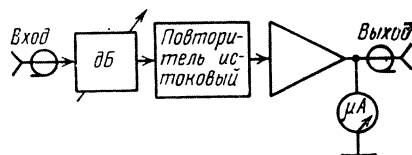


Рис. 1.99

мальному ослаблению 40 дБ. Выходной уровень контролируется индикатором. Высокое входное сопротивление позволяет подключать усилитель к различным схемам, не искажая их работы. При использовании внешних источников питания или при работе с ремонтным кабелем частотомера прибор ЯЗЧ-31 может быть использован как широкополосный промежуточный усилитель, предварительный усилитель к осциллографу, вольтметру и т. д.

При работе с данным прибором нужно учитывать, что его собственные шумы имеют уровень 8 мВ.

Усилитель ЯЗЧ-31 совместно с электронно-счетным частотомером ЧЗ-38, а также самостоятельно может при-

меняться для автоматического контроля и измерения частотных параметров сигналов в измерительной и связной аппаратуре, при ядерных исследованиях, при настройке и регулировке радиоаппаратуры и т. д.

Усилитель широкополосный ЯЗЧ-32

Усилитель (рис. 1.98) предназначен для усиления синусоидальных электрических сигналов с последующим измерением частоты усиленного сигнала электронно-счетным частотомером ЧЗ-39

Основные технические характеристики

Диапазон входных частот 0,1—100 МГц

Напряжение входного сигнала:

3—300 мВ,

0,3—10 В с дополнительным аттенуатором

Напряжение выходного сигнала не менее 100 мВ на нагрузке 50 Ом

Неравномерность амплитудно-частотной характеристики не более 3 дБ

Входной импеданс 1 МОм, 15 пФ

Уровень шумов на выходе 7 мВ эфф

Питание от сети постоянного тока напряжением $\pm 12,6 \text{ В} \pm 1\%$, ток 30 мА

Потребляемая мощность 1 Вт

Условия эксплуатации: температура от -10 до $+50^\circ \text{C}$, относительная влажность до 95% при $+30^\circ \text{C}$

Габаритные размеры

158×108×242 мм

Масса 2 кг

Прибор (рис. 1.99) усиливает как синусоидальные, так и импульсные сигналы положительной и отрицательной полярности. Максимальный уровень выходного напряжения $\pm 0,7 \text{ В}$ на нагрузке 50 Ом. Время восстановления не превышает 4 нс. Величина входного напряжения регулируется ступенчатым аттенуатором с шагом в 10 дБ и максимальным ослаблением 40 дБ. При использовании усилителя ЯЗЧ-32 как самостоятельного прибора необходимо выход его нагружать на нагрузку 50 Ом через кабель с волновым сопротивлением 50 Ом и длиной не более 0,5 м. Усилитель можно использовать для усиления сигналов в полосе частот 100—200 МГц, при этом коэффициент усиления будет порядка 20 дБ.

Прибор может применяться также в системах автоматического измерения и контроля частоты, при настройке и регулировке аппаратуры.

Блок предварительного выбора ЯЗЧ-34

Прибор (рис. 1.100) предназначен для счета числа N электрических сигналов с предварительной установкой числа N , деления частоты электрических колебаний, умножения периода измеряемого сигнала, расширения интервала времени счета электронно-счетных частотомеров ЧЗ-37 и ЧЗ-38 в N раз.

Основные технические характеристики

Диапазон входных частот:

10 Гц—100 кГц при синусоидальной форме сигнала,

0—100 кГц при импульсной

Напряжение входного сигнала: 0,1—10 В при синусоидальной форме сигнала,



Рис. 1.100

0,5 — 10 В при импульсной форме сигнала положительной полярности

Длительность входного импульса 0,5 мкс

Входное сопротивление 1 МОм

Входная емкость 50 пФ

Длительность выходного импульса 4—6 мкс

Напряжение выходного сигнала 6 В

Коэффициент $N 1-10^5$ (набор через единицу)

Питание: +6,3 В $\pm 1\%$, 35 мА; -12,6 В $\pm 1\%$, 230 мА; +12,6 В $\pm 1\%$, 1 мА

Потребляемая мощность 5 ВА

Условия эксплуатации: температура -10 до +50° С, относительная влажность до 95% при +30° С

Габаритные размеры

158 × 108 × 242 мм

Масса 2 кг

Принцип действия прибора (рис. 1.101) основан на делении частоты входного сигнала в N раз. Коэффициент деления выбирается пере-

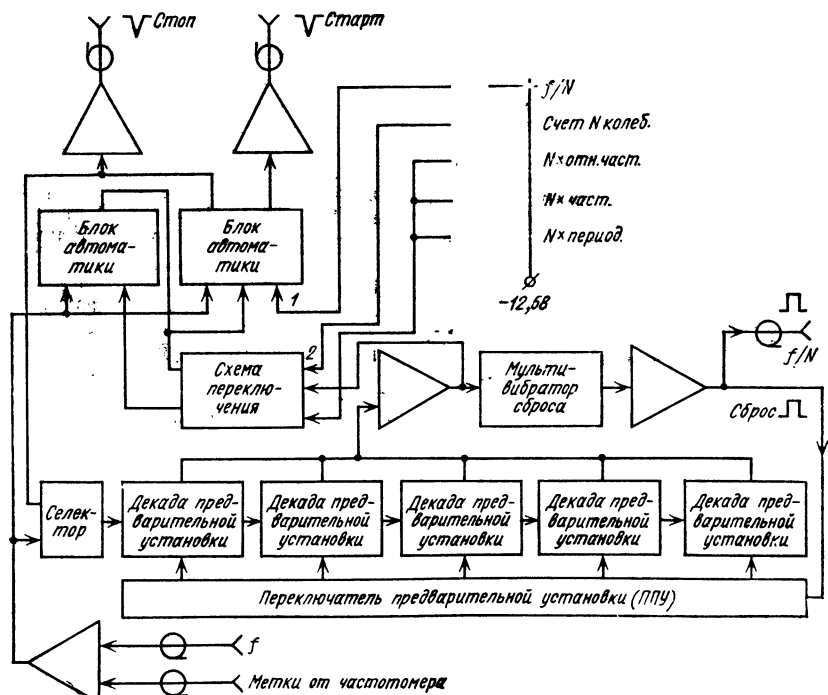


Рис. 1.101

ключателем предварительной установки (ППУ). Переключение сигнальных цепей в приборе осуществляется с помощью схем переключения, которые открывают, подавая на схему постоянное напряжение —12,6 В. Прибор увеличивает время счета электронно-счетного частотомера от 1 мс до 100 с (с шагом через 1 мс); производит умножение периода входного сигнала, поступающего на вход частотомера. Коэффициент умножения периода от 1 до 10^5 (с шагом, равным единице).

Прибор может работать самостоя-

тельно. Частотомер в этом случае выполняет контрольные функции. В режиме деления частоты прибор работает с переменным коэффициентом деления. Прибор можно использовать как генератор импульсов кварцованных частот, подавая на его вход сигнал от кварцевого генератора.

Блок ЯЗЧ-34 совместно с электронно-счетным частотомером может встраиваться в системы, осуществляющие автоматический контроль и измерение различных величин, управление измерительными и технологическими процессами.

Преобразователь частоты ЯЗЧ-41

Прибор (рис. 1.102) предназначен для преобразования синусоидальных сигналов из СВЧ диапазона в диапазон ЭСЧ с последующим измерением их электронно-счетным частотомером ЧЗ-38 или ЧЗ-39 с точностью, обеспечиваемой указанными частотомерами.

Напряжение выходного сигнала 0,1 В

Сопротивление выходного канала 50 Ом

Частота опорного сигнала 50 МГц

Напряжение опорной частоты не менее 0,5 В на нагрузке 100 Ом.

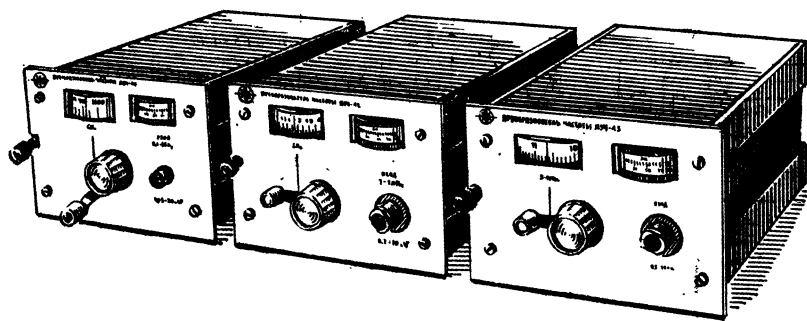


Рис. 1.102

Основные технические характеристики

Диапазон входных частот 0,1—1,0 ГГц

Напряжение входного сигнала 0,05—1,0 В

Входное сопротивление 50 Ом

Диапазон выходных частот 1—51 МГц

Ослабление комбинационных частот в опорном сигнале не менее 60 дБ

Питание от сети постоянного тока напряжением $\pm 12,6$ В $\pm 1\%$, ток 60 мА

Потребляемая мощность 1,5 Вт

Условия эксплуатации: температура от -10 до $+50^\circ\text{C}$, относительная влажность до 95% при $+30^\circ\text{C}$

Габаритные размеры
158×108×242 мм
Масса 3 кг

Преобразователь частоты (рис. 1.103) сочетает высокую чувствительность по входу с простотой и удобством эксплуатации. Он имеет всего один орган управления — ручку на-

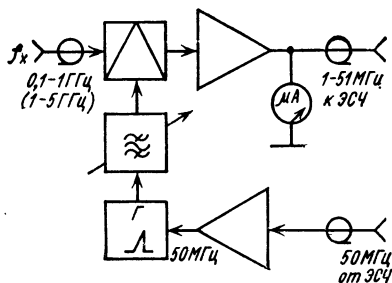


Рис. 1.103

стройки фильтра и орган контроля — индикатор настройки. Определение входной измеряемой частоты облегчается тем, что при настройке фильтра на максимальное отклонение стрелки индикатора шкала настройки фильтра точно указывает рабочую частоту гармоники опорного сигнала. Суммируя показания частоты по шкале фильтра с показаниями табло ЭСЧ, получаем значение измеряемой частоты. Правильность измерения можно проконтролировать. Для этого необходимо перестроить фильтр на следующую гармонику и из показания по шкале фильтра вычесть значение частоты ЭСЧ. Оба результата должны совпадать. Разрешающая способность измерения частоты с помощью преобразователя ЯЗЧ-41 совместно с ЭСЧ ЧЗ-38 или ЧЗ-39 равна 1 Гц за время измерения 1 с, т. е. погрешность измерения частоты в диапазоне 0,1—1,0 ГГц может быть 10^{-8} — 10^{-9} . Для этого необходимо ЭСЧ запустить от внешнего генератора образцовой частоты 5 МГц (Ч1-42, Ч1-43) напряжением 0,5—3 В на нагрузке 100 Ом

с нестабильностью частоты не хуже 10^{-9} . Относительная погрешность частоты кварцевого генератора частотомера $\pm 1,5 \cdot 10^{-7}$ в течение месяца.

Отличительные особенности прибора — широкий диапазон входных частот и высокая равномерная по диапазону чувствительность (реальная приблизительно 10 мВ) значительно расширяют его возможности. Кроме своего основного назначения, преобразователь частоты можно использовать для измерения частотных и фазовых флуктуаций генераторов. Для этого необходимо прибор подключить к ЧЗ-38 или ЧЗ-39 через соединительные кабели (находятся в ЗИПе ЧЗ-39), а выход преобразователя нагрузить на 50 Ом и подать на соответствующую анализирующую аппаратуру (анализатор спектра, девиометр, смеситель, осциллограф и т. д.).

Таким образом можно исследовать сигналы АМ, ЧМ, ИМ, при этом чувствительность к величине сигнала будет значительно выше, так как она обусловлена чувствительностью низкочастотной анализирующей аппаратуры. Необходимо учитывать, что, кроме основного преобразованного сигнала, на выходе будет присутствовать комбинационный сигнал более высокой гармоники, ослабленный на 35—45 дБ по отношению к основному.

Преобразователь ЯЗЧ-41 значительно улучшает технические и эксплуатационные характеристики измерительных систем, в которых используются электронно-счетные частотомеры ЧЗ-38 и ЧЗ-39. В комплекте с ними он позволяет выполнять прецизионные измерения частотных характеристик радиосигналов, производить настройку, градуировку и калибровку узкополосных трактов СВЧ диапазона. Преобразователь ЯЗЧ-41 совместно с электронно-счетными частотомерами ЧЗ-38 и ЧЗ-39 может применяться в радиолокации, радиоастрономии и радиосвязи для быстрого и точного измерения СВЧ сигналов, а также при регулировке, поверке и контроле радиотехнических устройств.

Преобразователь частоты ЯЗЧ-42

Прибор (рис. 1.102) предназначен для преобразования синусоидальных СВЧ сигналов в диапазон ЭСЧ с последующим измерением преобразованной частоты электронно-счетным частотомером ЧЗ-38 или ЧЗ-39 с точностью, обеспечиваемой указанными частотомерами.

Основные технические характеристики

Диапазон входных частот 1—5 ГГц
Мощность входного сигнала 0,2—10 мВт

Входное сопротивление 50 Ом
Диапазон выходных частот 1—51 МГц

Напряжение выходного сигнала 0,1 В на нагрузке 50 Ом
Опорная частота 50 МГц

Напряжение опорной частоты не менее 0,5 В на нагрузке 100 Ом

Ослабление комбинационных частот в опорном сигнале не менее 60 дБ

Питание от сети постоянного тока напряжением $\pm 12,6 \text{ В} \pm 1\%$, ток 60 мА

Потребляемая мощность 1,5 Вт

Условия эксплуатации температура от -10 до $+50^\circ\text{C}$, относительная влажность до 95% при $+30^\circ\text{C}$

Габаритные размеры:

158×108×242 мм

Масса 2,5 кг

В основу работы прибора ЯЗЧ 42 (рис. 1.103), как и приборов ЯЗЧ-41 и ЯЗЧ-43, положен метод дискретного гетеродинного преобразования. В качестве источника опорного сигнала в приборе используется умноженный сигнал кварцевого генератора электронно-счетного частотомера. При необходимости можно использовать внешний источник опорного сигнала частотой 50 МГц и напряжением 0,5—1 В. Генерирование гармоник осуществляется с помощью диодов с накоплением заряда. Наличие усилителя мощности позволяет получить достаточную мощность гармоник вплоть до сотой.

Отличительной особенностью дискретных гетеродинных преобразователей является присутствие широкодиапазонных перестраиваемых фильтров (коэффициент перекрытия по диапазону 10, 5, 4), так как именно они и определяют диапазон входных преобразуемых частот. Кроме того, эти фильтры должны иметь высокую добротность, линейность шкалы настройки, а паразитные колебания должны находиться выше рабочего диапазона частот. Этим требованиям удовлетворяет четвертьволновый отрезок коаксиальной линии с емкостью на разомкнутом конце.

Балансный смеситель подавляет четные гармоники входного и гетеродинного сигналов. Широкополосный усилитель выдает сигнал преобразованной частоты на ЭСЧ.

Конструктивно усилитель мощности, генератор гармоник, смеситель и широкополосный усилитель группируются вокруг фильтра. Это позволяет значительно сократить размеры и потребляемую мощность, повысить технические и эксплуатационные характеристики прибора. При работе с прибором необходимо настраивку фильтра вести от начала диапазона, если же измеряемая частота приблизительно известна (с точностью до 1%), то настраивку фильтра можно начинать на 100—200 МГц ниже измеряемой частоты.

Погрешность измерения частоты в диапазоне 1—5 ГГц составляет соответственно 10^{-9} — $2 \cdot 10^{-10}$. Если же требуются малые точности, то следует перейти на меньшее время измерения (100, 10, 1 мс).

Прибор в сочетании с ЭСЧ ЧЗ-38 или ЧЗ-39 или самостоятельно можно использовать для измерения диапазона частот, оценки линейности настройки, стабильности частоты, устойчивости к нагрузке, к прогреву и изменению питающих напряжений генераторов и передатчиков, для измерения, градуировки и поверки по частоте частотно-измерительных приборов и другой аппаратуры связи.

Преобразователь частоты ЯЗЧ-43

Преобразователь (рис. 1.102) предназначен для преобразования синусоидальных сигналов из СВЧ диапазона в диапазон ЭСЧ с последующим измерением преобразованной частоты электронно-счетным частотомером ЧЗ-38 или ЧЗ-39 с точностью, обеспечиваемой указанными частотомерами.

Основные технические характеристики

Диапазон входных частот 4—12 ГГц
 Мощность входного сигнала 0,2—5 мВт
 Входное сопротивление 50 Ом
 Диапазон выходных частот 1—51 МГц
 Напряжение выходного сигнала 0,1 В на нагрузке 50 Ом
 Опорная частота 50 МГц
 Напряжение опорной частоты 0,5 В на нагрузке 100 Ом
 Ослабление комбинационных частот в опорном сигнале не менее 60 дБ
 Питание: $\pm 20 \text{ В} \pm 1\%$, 80 мА; $\pm 12,6 \text{ В} \pm 1\%$, 100 мА; $\pm 6,3 \text{ В} \pm 1\%$, 20 мА; $\pm 2,6 \text{ В} \pm 1\%$, 180 мА; $-6,3 \text{ В} \pm 1\%$, 20 мА
 Потребляемая мощность 5,5 Вт
 Условия эксплуатации: температура от -10 до $+50^\circ\text{C}$, относительная влажность до 95% при $+30^\circ\text{C}$
 Габаритные размеры 158×108×242 мм
 Масса 3 кг

В преобразователе ЯЗЧ-43 (рис. 1.104) опорная частота 50 МГц умножается на два, соответственно и полосу широкополосного усилителя увеличивается вдвое. Для непосредственного измерения преобразованной частоты электронно-счетным частотомером ЧЗ-38 сигнал с широкополосного усилителя делится по частоте на два, а база времени ЭСЧ соответственно увеличивается вдвое. Отличительная особенность прибора ЯЗЧ-43 от других дискретных преобразователей заключается в том, что связь фильтра со смесителем осуществляется за счет электрической составляющей поля (в других — за счет магнитной составляющей поля). Это позволило получить почти постоянную избирательность в рабочем диапазоне частот.

Точностные характеристики прибора полностью определяются характеристиками опорного генератора, разрешающая способность прибора 1 Гц за время измерения 2 с, т. е. при использовании соответствующего стандарта частоты погрешность измерения $2,5 \cdot 10^{-10}$ — $8 \cdot 10^{-11}$.

Так как динамический диапазон ЯЗЧ-43 несколько меньше, то при измерении больших входных сигналов необходимо пользоваться внешним аттенуатором.

Кроме своего основного назначения — совместно с ЭСЧ измерять сигналы непрерывной генерации, преобразователь может измерять частоту

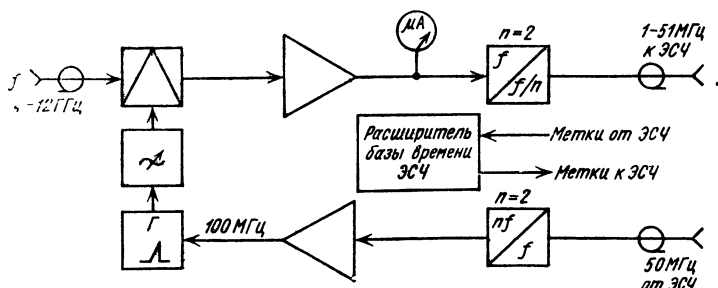


Рис. 1.104

СВЧ сигнала со значительной амплитудной модуляцией, достигающей до 80—90%. При этом необходимо следить, чтобы минимальный уровень преобразованного модулированного сигнала (на выходе широкополосного усилителя на нагрузке 50 Ом) был не менее 100 мВ. При измерении ЧМ сигнала преобразователь допускает девиацию 2—5 МГц на краю диапазона и приблизительно 100 МГц в середине полосы широкополосного усилителя. В этом случае будет измеряться среднее значение частоты ЧМ колебаний. Необходимо только следить за тем, чтобы сигнал преобразованной частоты не выходил за пределы полосы пропускания широкополосного усилителя.

Преобразователь частоты автономно может быть использован также

для преобразования несущей частоты импульсно-модулированных сигналов. В этом случае выход широкополосного усилителя нагружается на сопротивление 50 Ом и настройка фильтра контролируется осциллографом по максимуму выходного преобразованного сигнала (стрелка генератора в этом случае будет давать очень малое отклонение).

Особенностью приборов является возможность выдавать опорные сигналы с частотой в диапазоне 4—12 ГГц и с дискретностью 100 МГц. Уровень мощности 0,1—1 мВт достигается соответствующей настройкой фильтра. Это позволяет калибровать, настраивать и регулировать шкалы анализаторов спектра и СВЧ приемников.

Преобразователь частоты ЯЗЧ-49

Прибор (рис. 1.105) предназначен для преобразования частоты синусоидальных сигналов и несущей частоты ИМ сигналов из СВЧ диапазона в диапазон частот, измеряемый ЭСЧ ЧЗ-38 и ЧЗ-39.

Основные технические характеристики

Диапазон входных частот 0,07—12 ГГц

Мощность входного сигнала 0,1—5 мВт

Длительность импульса ИМ колебаний не менее 0,3 мкс

Частота следования импульсов не менее 100 Гц

Напряжение выходного сигнала не менее 0,2 В на нагрузке 50 Ом

Погрешность измерения среднего значения частоты синусоидальных сигналов не превышает погрешности ЭСЧ ЧЗ-38, ЧЗ-39

Погрешность измерения несущей частоты ИМ сигналов не более

$\pm 50 \text{ кГц}/f_x \text{ (кГц)} \pm 10^{-6}$ при $0,3 \text{ мкс} \leq \tau_x \leq 10 \text{ мкс}$,

$\pm 10 \text{ кГц}/f_x \text{ (кГц)} \pm 10^{-6}$ при $\tau_x > 10 \text{ мкс}$

Питание: +20 В $\pm 1\%$, 30 мА;
+12,6 В $\pm 1\%$, 90 мА; +6,3 В $\pm 1\%$,
160 мА; -12,6 В $\pm 1\%$, 170 мА

Потребляемая мощность 5 Вт

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40°C, относительная влажность до 95% при +30°C

Габаритные размеры

108×154×240 мм

Масса 3 кг

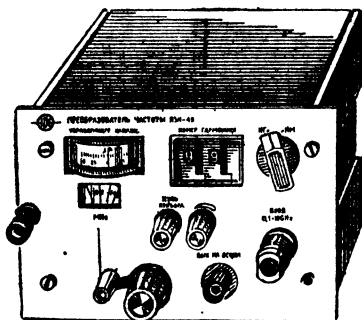


Рис. 1.105

Принцип действия прибора (рис. 1.106) основан на сравнении измеряемой частоты с гармоникой частоты гетеродина и дальнейшем измерении частоты гетеродина ЭСЧ. Частоты сравнивают с помощью системы фазовой автоподстройки частоты гетеродина под измеряемую частоту. Режим синхронизации фиксируют по индикатору на передней панели

лосу фазовой синхронизации, позволяющей измерять сигналы с большей девиацией частоты.

Наряду с этим преобразователь частоты ЯЗЧ-49 позволяет решить многие задачи измерения других частотных параметров сигналов СВЧ диапазона.

В режиме разомкнутой петли фазовой синхронизации сигнал разност-

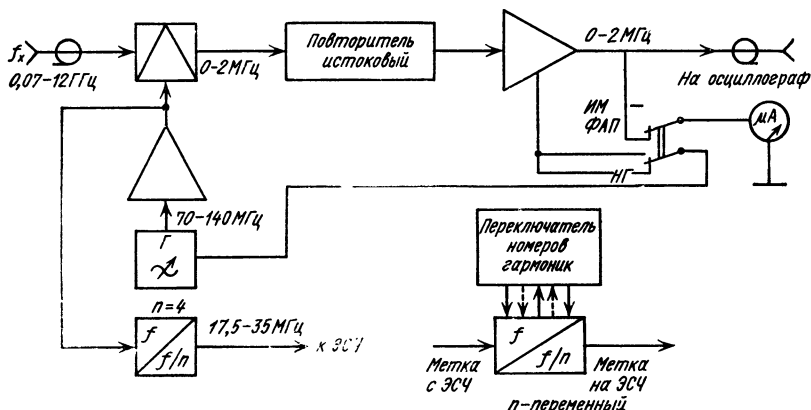


Рис. 1.106

прибора. При измерении среднего значения частоты непрерывных колебаний выполняют два измерения входной частоты в режиме фазовой синхронизации на n -й и $(n+1)$ -й гармониках гетеродина, вычисляя n и переключатель номера гармоник ставят в положение n .

Несущую частоту ИМ колебаний измеряют при разомкнутой петле фазовой синхронизации по максимальному отклонению стрелки индикатора настройки.

От приборов подобного класса (Ч5-13) преобразователь ЯЗЧ-49 отличается тем, что он имеет непосредственный отсчет измеряемой частоты на табло ЭСЧ; индикатор настройки на нулевые биения в импульсе, заменяющий осциллограф при измерении частоты ИМ колебаний; равномерную чувствительность во всем диапазоне измеряемых частот; возможность регулирования чувствительности, исключающей ложные настройки при больших входных сигналах; широкую по-

ной частоты $\Delta f = f_x - n f_{\text{гет}}$ несет информацию о длительности импульса, частоте повторения импульсов, о модуляции и шумах СВЧ сигнала. Подключая выходной сигнал разностной частоты (разъем ВЫХОД НА ОСЦ) к анализирующей низкочастотной аппаратуре, можно определять параметры в реальном масштабе времени.

Преобразователь частоты ЯЗЧ-49 совместно с ЭСЧ и осциллографом С1-48Б позволяет определять параметры ЧМ сигналов СВЧ диапазона: несущую частоту, размах ЧМ девиации, девиацию в импульсе. Преобразователь можно использовать и в качестве генератора гармоник. С разъема ВХОД можно получить сигнал, содержащий гармонические составляющие гетеродина от 70 МГц до 18 ГГц. При подаче его на вход анализатора вместе с СВЧ анализируемым сигналом преобразователь обеспечит калибровку шкалы анализатора спектра и более точное определение составляющих спектра.

Блок усиления ЯЗЧ-59

Прибор (рис. 1.107) предназначен для усиления синусоидальных сигналов в диапазоне радиочастот с последующим измерением их частоты электронно-счетным частотомером ЧЗ-38 или ЧЗ-39.

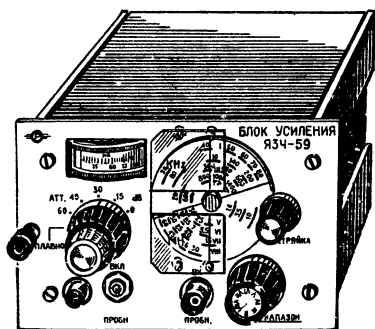


Рис. 1.107

Основные технические характеристики

Диапазон входных частот 0,03—60 МГц

Пределы входного напряжения 0,1—500 мВ

Входное сопротивление 50 Ом; при использовании выносного пробника не менее 10 кОм входная емкость не более 15 пФ

Уровень выходного напряжения 120 мВ на нагрузке 50 Ом

Полоса пропускания усилителя не более 0,15

Питание: $+12,6 \text{ В} \pm 1\%$, 100 мА;
 $-12,6 \text{ В} \pm 1\%$, 80 мА

Потребляемая мощность 2,3 Вт

Условия эксплуатации: температура от -10 до $+50^\circ\text{C}$, относительная влажность до 95% при $+30^\circ\text{C}$.

Габаритные размеры

158 × 108 × 242 мм

Масса 5,5 кг

Если источник сигнала имеет выходное сопротивление 50—75 Ом, то сигнал, подключаемый к усилению, подключается к низкоомному входу (рис. 1.108). Если же сопротивление источника более высокое, то сигнал подается на вход усилителя через пробник, входящий в комплект усилителя. Для предотвращения перегрузки выходных каскадов усилителя на входе прибора имеется четырехступенчатый аттенуатор с шагом 15 дБ. Имеется возможность плавной регулировки ослабления входного уровня в пределах 15 дБ на каждом поддиапазоне.

Селекция входного сигнала осуществляется восьмидиапазонным переключателем. Внутри каждого диапазона осуществляется плавная подстройка по максимальному отклонению стрелки индикатора.

Использование избирательного фильтра для выделения полезного сигнала позволило реализовать высокую чувствительность усилителя и обеспечить высокое отношение сигнал/шум.

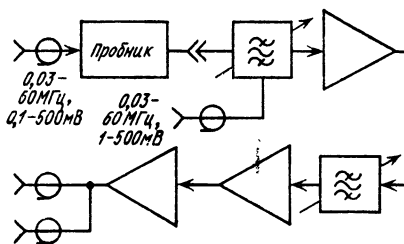


Рис. 1.108

Совместно с электронно-счетным частотомером ЧЗ-38 усилитель применяется в системах автоматического контроля и измерения частотных параметров сигнала, особенно он полезен в системах со значительным уровнем собственных шумов.

Блок формирования гармоник ЯЗЧ-61

Прибор (рис. 1.109) предназначен для выдачи сигналов, имеющих значительное содержание гармонических составляющих.

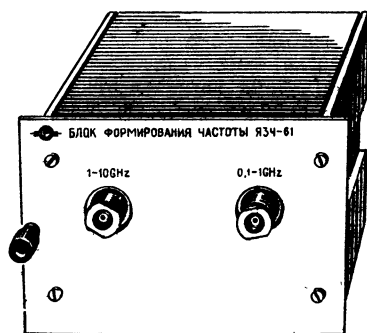


Рис. 1.109

Основные технические характеристики

Частота выходных сигналов 10; 100 МГц

Спектр гармонических составляющих:

до 1 ГГц с интервалом 10 МГц,

до 10 ГГц с интервалом 100 МГц

Величина выходного сопротивления 50 Ом

Частота входного сигнала 5 МГц

Уровень входного сигнала 0,5 В на нагрузке 1 кОм

Питание: $+12,6 \text{ В} \pm 1\%$, 150 мА;

$-12,6 \text{ В} \pm 1\%$, 120 мА

Потребляемая мощность 3,5 Вт

Условия эксплуатации: температура от -10 до $+50^\circ\text{C}$, относительная влажность до 95% при $+30^\circ\text{C}$

Габаритные размеры

$158 \times 108 \times 242 \text{ мм}$

Масса 3 кг

Принцип работы прибора (рис. 1.110) основан на генерировании короткого импульса с частотой следования 10 и 100 МГц. Эти частоты получаются путем умножения частоты опорного кварцевого генератора. Усилители и умножители частоты представляют собой резонансные усилители, собранные по каскадной схеме. Каскады отличаются резонансными контурами и величиной емкостной связи между ними. Фильтры позволяют ослабить комбинационные частоты на входе генератора гармоник на 60 дБ.

Для формирования короткого импульса используется диод с накоплением заряда, нагрузкой которого является короткозамкнутый отрезок коаксиальной линии.

На выходе прибора гармонические составляющие, кратные частотам 10 и 100 МГц, имеют нестабильность

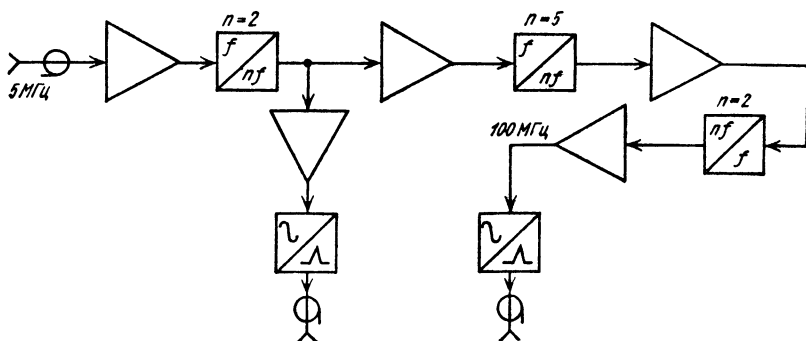


Рис. 1.110

опорного кварцевого генератора. Не- стабильность сетки опорных частот можно улучшить, запустив ЭСЧ от внешнего более стабильного опор- ного источника сигнала стандарта частоты.

Блок формирования гармоник ЯЗЧ-61 совместно с ЭСЧ ЧЗ-38 или ЧЗ-39 может применяться при изме- рении, градуировке и проверке по ча- стоте частотно-измерительных прибо- ров и аппаратуры связи.

1.16. Классификация систем сбора и обработки данных.

Информационно-измерительные системы

Измерительные системы предназна- чены для автоматизации процессов измерений, начиная от приема инфор- мации от нескольких измерительных приборов или от ряда источников электрических сигналов, измерения параметров этих электрических сиг- налов и кончая обработкой результа- тов измерений и регистрации полу- ченных данных в виде, удобном для дальнейшего использования.

Их создание связано с новым эта- пом развития радиоизмерительной техники — построением автоматизи- рованных измерительных и испыта- тельных систем для различных обла- стей народного хозяйства на базе ра- диоизмерительных приборов общего применения. Такие системы значи- тельно сокращают время и повыша- ют достоверность измерений. В соот- ветствии с заданной программой они производят необходимую математиче- скую обработку результатов из- мерения, сокращают количество одно- временно используемых радиоизмери- тельных приборов, если необходимо получить большое количество данных при исследовании какого-либо объ- екта.

Системы сбора и обработка данных характеризуются числом входных ка- налов, скоростью работы, измеряе- мыми электрическими величинами, по- грешностью измерения, видом обра- ботки, способом управления и фор- мой представления полученных дан- ных.

Системы осуществляют измерения напряжений постоянного и перемен- ного токов, постоянного тока, сопро- тивления, частоты и периода элек- трических сигналов, интервалов вре-

мени, а с использованием датчиков- преобразователей физических и ме- ханических величин в электрические сигналы: температуры, давления, ускорения, массы, смещения, скорости и т. п. Погрешность измерения опре- деляется погрешностями измеритель- ных приборов, входящих в систему.

Обобщенная структурная схема системы представлена на рис. 1.111.

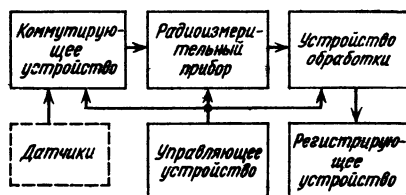


Рис. 1.111

Внешние датчики, не входящие в со- став системы, преобразуют физиче- ские и механические величины в элек- трические сигналы, параметры кото- рых измеряются системой.

Коммутирующее устройство прини- мает аналоговые электрические сиг- налы от нескольких источников сиг- налов и передает их последовательно на радиоизмерительные приборы.

Цифровые измерительные приборы — ЭСЧ, измерители временных интер- валов, вольтметры выполняют функ- ции аналого-цифровых преобразова- телей по отношению к входным сиг- налам.

Устройство обработки производит необходимую математическую об-

работку информации, поступающей с радиоизмерительных приборов, и преобразует ее в форму, пригодную для ввода в регистрирующую аппаратуру. Наиболее простое устройство обработки — компаратор допускового контроля.

Регистрирующее устройство записывает полученные данные в коде на перфоленту, магнитную ленту или в цифробуквенной форме на бумагу. К регистрирующим устройствам относятся также аналоговые самописцы и осциллографы (визуальные индикаторы).

Управляющее устройство осуществляет управление режимами работы приборов и системы в целом в соответствии с заданной программой. Для управления системой используются программирующие устройства со штеккерным наборным полем, перфолентой и мини-ЦВМ. Системы с мини-ЦВМ более универсальны и обладают большей скоростью обработки. В ряде случаев они позволяют повысить точность и достоверность измерения, так как мини-ЦВМ, кроме функции управления системой, одновременно выполняет и функцию обработки результатов измерений непосредственно в процессе испытаний. Это позволяет оперативно воздействовать на процесс измерений в зависимости от полученных результатов. Системы с программированием от перфоленты или штеккерного наборного

поля менее гибкие и скорость их работы меньше, но они дешевле и проще в обслуживании. Для составления программ работы системы не требуется специальной подготовки персонала.

Быстродействующие системы определяются не столько программирующим устройством, сколько используемыми аналого-цифровыми преобразователями и коммутаторами. Измерительные приборы — ЭСЧ, интегрирующий вольтметр, электромеханические коммутаторы не являются на сегодня достаточно быстродействующими. К высокоскоростным относятся кодовые время-импульсные преобразователи, а также преобразователи поразрядного сравнения.

Так как системы производят измерение многих параметров электрических сигналов в широком диапазоне их значений, то в их состав может входить довольно много радиоизмерительных приборов. Число измерительных приборов в системе определяется также количеством входных и выходных каналов коммутатора, по которым производится передача сигналов. Результаты измерений и обработки данных с помощью различных регистрирующих устройств, входящих в систему, выдаются потребителю в цифровой (т. е. в виде цифр или кодов, записываемых на перфоленту, магнитную ленту, перфокарту) и аналоговой формах.

Аппаратура, применяемая в системах сбора и обработки данных

В системах сбора и обработки данных для подключения в определенной последовательности входных сигналов и передачи их к радиоизмерительным приборам, а также для распределения команд управления и сигналов синхронизации используются коммутирующие устройства.

Входные коммутирующие устройства характеризуются емкостью или числом входных и выходных каналов, быстродействием или скоростью переключения, переходным сопротивлени-

ем и его нестабильностью, уровнем термо-э.д.с., полосой пропускания, входным сопротивлением, сопротивлением изоляции от управляющей цепи, защитой коммутатора от помех общего вида, ресурсом работы, числом элементов на один коммутирующий канал, надежностью, габаритными размерами, массой и потребляемой мощностью. Применение многоканальных входных коммутаторов в системе позволяет сократить состав радиоизмерительной аппаратуры, и

поэтому, чем больше каналов в коммутаторе, тем ниже стоимость оборудования на канал.

Количество коммутируемых выходных каналов определяет число измерительных приборов, которые можно включить в состав систем.

В настоящее время наблюдается тенденция сделать системы универсальными, пригодными практически для измерения всех видов электрических сигналов. Но так как осуществить это с помощью одного радионизмерительного прибора невозможно, коммутаторы должны иметь несколько выходных каналов, чтобы можно было подключить к ним несколько измерительных приборов.

Основной функцией систем сбора и обработки данных является измерение параметров электрических сигналов с высокой точностью в широком диапазоне значений измеряемых величин, поэтому предъявляют повышенные требования к точности передачи сигналов входным коммутатором. Погрешность, вносимая коммутатором, должна быть на порядок ниже, чем точность используемых в системе измерительных приборов. В некоторых системах коммутатор, кроме основной своей функции коммутирования входных сигналов, выполняет еще функцию программирования работ измерительных приборов, входящих в систему. Для этого в коммутатор включается штекерное наборное поле.

В коммутаторах применяются различные по принципу действия коммутирующие элементы: механические, электромеханические, электронные. Механические коммутирующие устройства (моторно-щеточные и ртутно-струйные) используются в тех случаях, когда требуются высокая точность передачи сигналов, полная идентичность всех каналов и большой диапазон величин коммутируемых сигналов. Основными недостатками механических коммутаторов являются: небольшое число коммутируемых каналов, большой уровень акустических шумов, недостаточный ресурс работы, большие габаритные размеры и малое быстродействие. Механические коммутаторы чаще всего исполь-

зуются для коммутации сигналов низкого уровня.

Электромеханические коммутирующие устройства (шаговые искатели, реле и многокоординатные соединители), хотя и обладают рядом недостатков (малое быстродействие, небольшой срок службы — до 10^7 циклов переключения и т. п.), до настоящего времени используются для создания различных коммутаторов, так как они имеют малое и стабильное переходное сопротивление, малый уровень шумов и термо-э. д. с. Для повышения срока службы специальные шаговые искатели выпускают в герметизированных, заполненных маслом корпусах с позолоченными контактами, что повышает срок их службы до 10^9 циклов работы.

Недостатком релейных коммутаторов является малое быстродействие (до 10 переключений в 1 с) и ограниченный срок службы. Значительно лучше характеристики у электромагнитных реле язычкового типа. Конструктивно они выполнены в виде стеклянной капсулы, в которую запаивается металлическая контактная группа. Капсула помещается в электромагнит. При пропускании тока через электромагнит под действием магнитного поля происходит замыкание контактов, которые выполнены из пермаллоя или другого магнитного материала. Время срабатывания у таких реле 1 мс, гарантируемое число срабатываний 10^9 , переходное сопротивление несколько десятков миллиом. Более высокие характеристики у языковых реле с контактами, смазываемыми ртутью. На языковых реле создаются многоканальные коммутаторы среднего быстродействия для передачи напряжения постоянного и переменного тока.

Недостатки коммутаторов механического и электромеханического типа ограничивают их применение. Современным требованиям по быстродействию и надежности удовлетворяют только электронные коммутаторы. Из электрических устройств, способных осуществлять функцию переключения, широкое применение находят диодные и триодные полупроводниковые ключевые схемы, хотя и они обладают

рядом недостатков (затруднена коммутация малых сигналов, невозможна коммутация высоких напряжений, мал динамический диапазон передачи сигналов, имеется температурный и временной дрейф, а также гальваническая связь между источником измеряемого сигнала и измерительным прибором). В последнее время в быстродействующих коммутаторах все большее распространение получают ключевые схемы на МОП транзисторах, которые позволяют создавать высокоскоростные коммутаторы повышенной точности с большим динамическим диапазоном коммутируемых сигналов.

Основой любой цифровой системы сбора и обработки данных являются преобразователи аналог—цифра. Именно они определяют измерительные возможности и ее быстродействие. В системах в качестве таких преобразователей применяются различные измерительные приборы: вольтметры цифровые постоянного и переменного тока, частотомеры, цифровые измерители сопротивления, емкости и индуктивности, а также быстродействующие преобразователи аналог—код компараторного типа (кодоимпульсный, время-импульсный, поразрядного сравнения).

В измерительных системах наиболее часто применяются универсальные ЭСЧ и цифровые вольтметры. Так как особых требований к ЭСЧ, входящему в состав систем (кроме требования возможности дистанционного управления), не предъявляется, то остановимся более подробно на применении цифровых вольтметров.

Наиболее важной характеристикой цифрового вольтметра, необходимой

для получения высокой точности измерений, является максимальное подавление последовательных помех, которые возникают из-за попадания напряжения переменного тока питающей сети частотой 50 или 400 Гц в канал измеряемого сигнала.

Так как в цифровых вольтметрах компараторного типа (кодо- и время-импульсных) измерительная часть находится в петле обратной связи, подавление последовательной помехи без применения специальных мер невозможно.

В цифровом вольтметре интегрирующего типа последовательные помехи на точность измерения почти не влияют, а в вольтметре компараторного типа для подавления помех необходим фильтр.

При использовании устройств компараторного типа для подавления помех применяется фильтр с демпфирующей характеристикой (при коэффициенте фильтрации 30—60 дБ для напряжения промышленной сети) и включают его на входе измерительного прибора. Однако установка такого фильтра увеличивает постоянную времени входной цепи, в результате чего возрастает и время измерения. При большом числе каналов и высокой разрешающей способности из-за задержки, обусловленной временем установления фильтра, даже после снятия входного напряжения остаточное напряжение суммируется с напряжением следующего входного сигнала, в результате чего точность измерения снижается. Таким образом, компараторный метод измерения значительно хуже метода интегрирования в отношении подавления помех, времени и точности измерения.

В цифровом вольтметре интегрирующего типа вследствие того, что входное напряжение интегрируется в течение определенного периода времени, результат измерения усредняется, при этом время квантования является в какой-то степени интегральным временем периода помехи (см. рис. 1.112). Можно сказать, что процесс интегрирования позволяет эффективно устранить влияние помехи на входной сигнал.

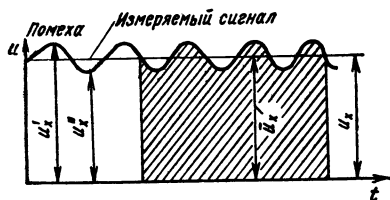


Рис. 1.112

Коэффициент фильтрации наложенной помехи определяется отношением $K_{фнп} = 20 \lg E_{нп}/E_{вх \text{ нп}}$, дБ.

При интегральном методе измерения измеряемая величина E определяется в соответствии с выражением

$$E = \int_0^T \{E_c(t) + E_{нп}(t)\} dt/T,$$

где E_c — измеряемое напряжение; $E_{нп}$ — напряжение наложенной помехи; T — время квантования.

Когда помеха следует с периодом 20 мс (50 Гц) и время квантования

0,1 с, интегральная величина $\int_0^T E_{нп} dt$

становится равной нулю и помеха не влияет на точность измерения. Если период повторения помехи не равен периоду квантования, то, естественно, появится погрешность, обусловленная ею.

Однако если соотношение между периодами квантования и помехи большое, то неусредненная часть будет чрезвычайно мала по сравнению с общей величиной. Следовательно, эффект от фильтрации помех будет значительным. Ясно, что коэффициент фильтрации возрастает с увеличением периода квантования (рис. 1.113).

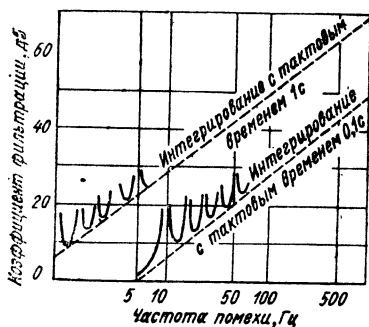


Рис. 1.113

Кроме того, интегрирующий метод позволяет получить достаточно высокий коэффициент фильтрации помех общего вида. Следовательно, цифро-

вой вольтметр интегрирующего типа обеспечивает более высокую точность измерения сигналов, имеющих низкий уровень, даже при высоком уровне помех.

В системах сбора и обработки данных преобразование записанных в программе инструкций в команды управления коммутирующими устройствами, радиоизмерительными приборами, компараторами кодов производится с помощью программирующих устройств.

Различают два метода работы программирующих устройств: с заданием последовательности операций во времени или с заданием последовательности операций без учета времени. При втором методе каждая последующая операция начинается после завершения предыдущей, независимо от того, когда она совершится. В сложных системах программирующее устройство может выполнять часть операций одним методом, а часть — другим. При программировании в реальном масштабе времени используются различные синхронизирующие устройства. В состав программирующих устройств могут входить часы, считывающее устройство, цифровые логические устройства, коммутационное устройство, память.

Наиболее важной частью программирующего устройства является память. Емкость памяти должна быть достаточна для того, чтобы в ней записать программу работы системы. Программирующие устройства с различными носителями программы, используемые в системах сбора и обработки данных, подразделяются на виды в соответствии со сложностью, емкостью, памятью и скоростью считывания записи (рис. 1.114).

Программирующее устройство, так же как и измерительный прибор, необходимо для любой системы независимо от ее сложности, и назначения. Однако, когда общее количество различных выполняемых операций невелико, в простейших системах, как правило, обходятся без отдельных устройств программирования.

При этом функции программирования и управления либо передаются одному из обязательно входящих в

систему приборов, обычно коммутатору, в котором делается штеккерное наборное поле, либо распределяются между приборами. В наиболее распространенных системах средней сложности программирование обычно осуществляется отдельным устройством.

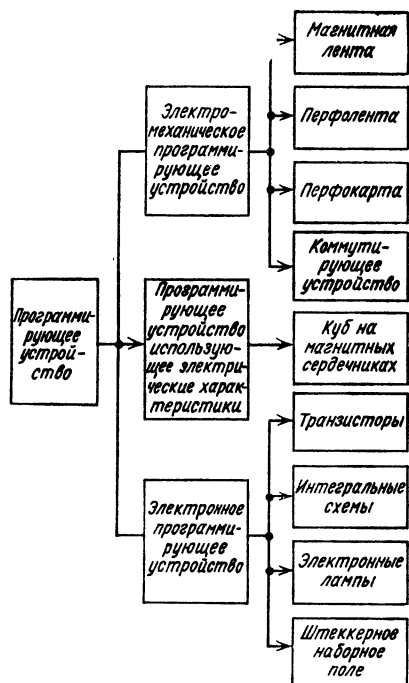


Рис. 1.114

В качестве носителя программы используются комплекты перфокарт, перфолента, магнитная лента, кубы памяти. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки. Куб памяти на магнитных сердечниках не подвержен износу, старению, но у него средняя емкость и трудно изменяемая программа, поэтому он применяется, когда приходится иметь дело с большим числом повторений программы, например, в специализированных системах, рассчитанных для длительного контроля параметров одного и того

же изделия или процесса. Магнитная лента обеспечивает самый большой объем программы по сравнению с другими носителями программ, однако она слишком дорога для обычного применения. Наибольшее распространение получила перфолента, обладающая большой емкостью, низкой стоимостью, простотой программирования и легкостью изменения программы.

В сложных системах функция программирования в последнее время выполняется включаемой в их состав мини-ЦВМ. Такие системы отличаются большой гибкостью управления, позволяют производить сложную математическую обработку результатов измерений.

Логическая и математическая обработка результатов измерений в соответствии с установленной программой осуществляется устройствами обработки, которые позволяют сделать системы сбора и обработки данных более гибкими и универсальными, а также повысить точность и достоверность полученных результатов и облегчить программирование систем. В зависимости от назначения систем и круга решаемых ими задач в них используются различные устройства обработки — от простейших допусковых компараторов до ЦВМ.

Для осуществления допусковой обработки по принципу ГОДЕН — НЕГОДЕН или БОЛЬШЕ — НОРМА — МЕНЬШЕ используется компаратор кодов, который автоматически сравнивает полученные данные со значениями верхнего и нижнего пределов, подаваемых от программирующего устройства. В ряде случаев, когда при выполнении большого числа измерений требуется представить полученную информацию в виде статистических закономерностей экстремальных значений или знать распределение измеряемых величин в виде гистограмм, используются различные классификаторы. Кроме того, часто не представляется возможным получить необходимые данные, выполняя прямые измерения. Тогда производят косвенные измерения, а требуемый параметр определяют путем математической обработки результатов этих измерений.

Малые ЦВМ или настольные клавишные ЦВМ, которые в последнее время включаются в состав систем, осуществляют не только обработку полученных данных, но и программное управление всей системой.

Документальную запись результатов испытаний для их просмотра, хранения или дальнейшего анализа на ЦВМ обеспечивают регистрирующие устройства. В их состав входят различные печатающие устройства для регистрации результатов измерений в закодированной или явной форме, аналоговые самописцы и устройства визуальной индикации.

В качестве визуальных индикаторов применяют лампы тлеющего разряда, люминесцентные индикаторы и катодно-лучевые трубки с формирователями цифр и знаков (дисплей).

Для регистрации аналоговых величин используют аналоговые самописцы: одно- и двухкоординатные, шлейфные осциллографы, катодно-лучевые трубки (аналоговые и цифровые дисплей), магнитную ленту.

Наиболее широкое распространение получили электромеханические печатающие устройства, лучшие образцы которых обеспечивают регистрацию до 20 строк/с.

Источники помех в системах и методы их устранения

Системы сбора и обработки данных в большинстве случаев измеряют сигналы постоянного напряжения низкого уровня (около 10 мВ), наряду с сигналами порядка единиц и сотен вольт. Так как источники сигналов и измерительная система связаны между собой обычно кабельными линиями от нескольких десятков до нескольких сотен метров, то возможно возникновение дополнительных погрешностей из-за влияния сильных наведенных в этих цепях помех.

Такие помехи могут возникать в сложном кабельном хозяйстве за счет контурных токов, несогласованных и некачественных заземлений. Источниками помех могут быть комму-

более высокое быстродействие имеют устройства, основанные на использовании фотополупроводниковых, магнитных и диэлектрических свойств материалов, электротермического и электрохимического действия тока и материалов, чувствительных к действию давления и тепла. С точки зрения получения наибольшей скорости печати наиболее перспективен электрохимический метод, который обеспечивает быстродействие от 100 до 200 строк/с.

В качестве регистрирующих устройств в системах начинают применяться телетайпы и различные электрофицированные печатающие устройства последовательного действия, построенные по принципу пишущих машинок. Максимальная скорость печати их не превышает 10 знаков в секунду. Регистрация результатов измерений для дальнейшего их анализа с помощью ЦВМ производится на перфолентах, перфокартах и магнитных лентах.

Кроме соответствующих перфораторов и накопителей на магнитной ленте, в состав систем также включают различные согласующие устройства, которые связывают между собой цифровые измерительные приборы и исполнительные (регистрирующие) механизмы.

тирующие устройства и непосредственно источники измеряемых сигналов.

Способы уменьшения погрешности измерения, обусловленной помехами, поступающими от источника сигнала, были рассмотрены при анализе преобразователей цифра — аналог.

В том случае, если источник сигналов и измерительная система заземлены в отдельности, то возникает, как правило, контурный ток, протекающий по земле и индуцирующий напряжение помех общего вида $E_{оп}$ (рис. 1.115), тем большее, чем больше расстояние между точками заземления. Если рядом заземлено оборудование, потребляющее много электроэнергии (например, электродвига-

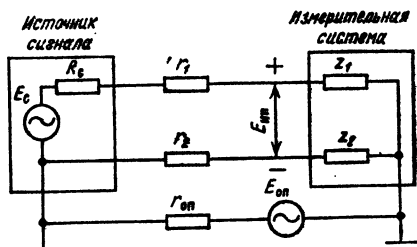


Рис. 1.115

тель), то $E_{оп}$ может достигать нескольких десятков вольт.

Если R_c мало, величина напряжения помехи $E_{ин}$, наведенной на входных клеммах системы за счет напряжения помех общего вида, определяется из соотношения

$$E_{ин} = \left(\frac{r_1}{z_1} - \frac{r_2}{z_2} \right) E_{оп},$$

причем, если $z_1 = z_2$, $r_1 = r_2$, то $E_{ин} = 0$.

На практике эти условия обычно не выполняются и напряжение наведенной помехи, накладываясь на сигнал, вызывает дополнительную погрешность измерения.

Величина наведенной помехи оценивается с помощью коэффициента фильтрации помехи общего вида

$$K_{фоп} = 20 \lg \frac{E_{оп}}{E_{ин}}, \text{ дБ.}$$

Эту величину можно значительно уменьшить, если измерительная часть системы будет иметь тот же потенциал, что и источник сигнала (рис. 1.116). В этом случае величина наведенной помехи

$$E_{ин} = \frac{r_3}{z_3} \left(\frac{r_1}{z_1} - \frac{r_2}{z_2} \right) E_{оп}.$$

При $z_3 \gg r_3$ коэффициент фильтрации становится значительно лучше, чем в случае, когда отсутствует двойной экран.

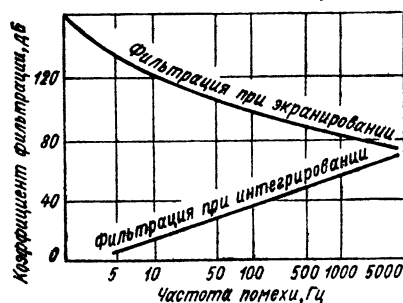


Рис. 1.117

При использовании в системе интегрирующего цифрового вольтметра, имеющего хорошую изоляцию от корпуса аналоговой части и специальные

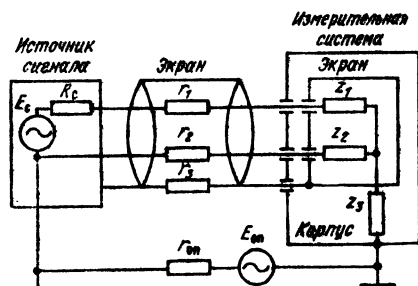


Рис. 1.116

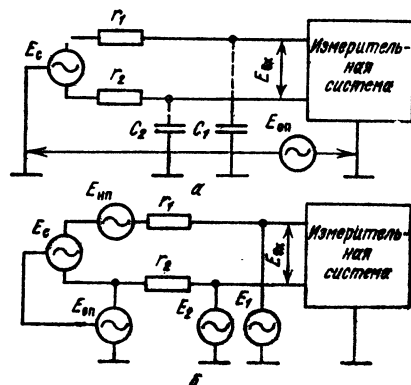


Рис. 1.118

экранированные силовые трансформаторы в источниках питания с проходной емкостью 2—10 пФ, можно получить подавление помех общего вида на частоте 50 Гц свыше 120 дБ. На рис. 1.117 показана зависимость коэффициента фильтрации от частоты.

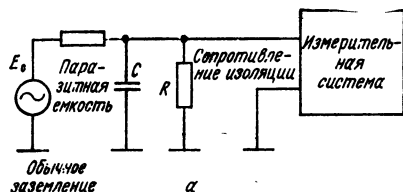
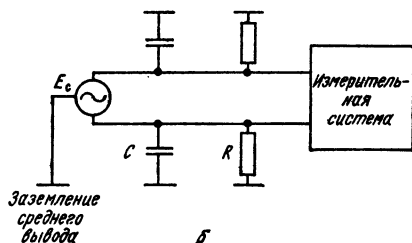


Рис. 1.119



Даже в случае, когда в системе достигается большой коэффициент фильтрации помехи общего вида, величина наведенной помехи сильно зависит от вида входной сигнальной линии и способов связи источника сигнала с системой.

Как показано на рис. 1.118, напря-

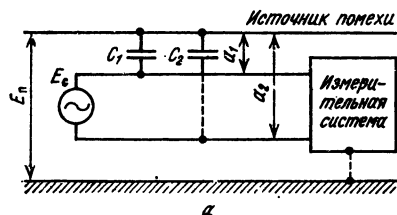
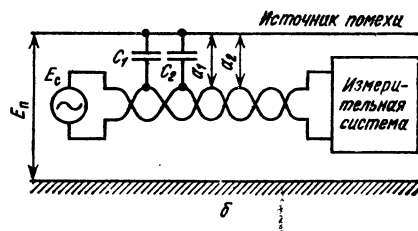


Рис. 1.120



жение помехи общего вида $E_{оп}$ может наводиться на сигнальные линии через распределенные емкости C_1 и C_2 (соответствующие напряжения помехи E_1 и E_2). Если E_1 и E_2 совпадают по фазе, то они компенсируются и результирующее напряжение равно нулю. Если же фазы различны или сопротивления сигнальных линий несбалансированы, то на входе измерительной системы появляется напряжение наведенной помехи.

2. Скрутка проводов сигнальных линий (рис. 1.120).

3. Экранировка сигнальных линий (рис. 1.121). В этом случае можно уменьшить уровень помех, наводимых через распределенные емкости, от шумов общего вида или от внешних источников.

При несбалансированном сопротивлении сигнальных линий R и паразитной емкости C

$$K_{\text{фоп}} = 20 \lg \frac{E_{\text{оп}}}{E_{\text{нп}}}$$

В данном случае $E_{\text{нп}} = IR$, где

$$I = \frac{E_{\text{оп}}}{x_e} = 2\pi f C (1 - \alpha) E_{\text{оп}} (x_e \gg R).$$

Соответственно $K_{\text{фоп}} = 20 \lg \frac{1}{2\pi f C (1 - \alpha) R}$, где $(1 - \alpha)$ — показатель защиты экрана дается в отношении к длине линии. Например, при длине линии 300 м показатель, определяемый формой кабеля, равен 0,001. Если $(1 - \alpha) = 0,001/300$ м, $C = 100$ пФ/м, $R = 100$ Ом, то эффективная емкость

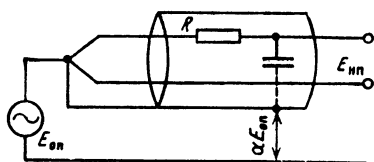


Рис. 1.121

$C_{\text{эф}} = (1 - \alpha) C = 0,001 \times 100,0 \times 10^{-12} \times 300$ пФ и при питании от сети 50 Гц $K_{\text{фоп}} = 120$ дБ. Если входная линия выполнена без экранирования, то $C_{\text{эф}} = C$ и $K_{\text{фоп}} = 60$ дБ.

4. Заземление экранированных проводов. Экранированный кабель от источника сигнала обычно заземляется одним концом и не должен заземляться в двух местах (рис. 1.122, а). Заземление со стороны источника сигнала желательно делать так, как показано на рис. 1.122, б.

В этом случае экранированный провод имеет тот же потенциал, что и источник сигнала. Если заземляется крайний или средний вывод источника сигнала, то заземление желательно делать со стороны источника сигнала. При заземлении со стороны измерительной системы образуется электрическая цепь и через нее проходит ток, который вызывает напряжение помехи общего вида и наводит на входе измерительной системы помеху (рис. 1.123, а). Если такая цепь отсутствует (рис. 1.123, б), то уровень наводимой помехи меньше, чем в первом случае.

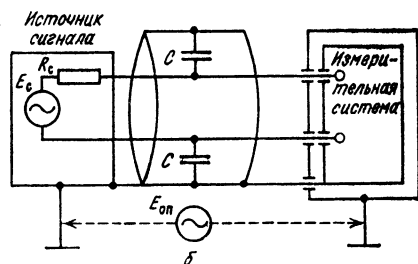
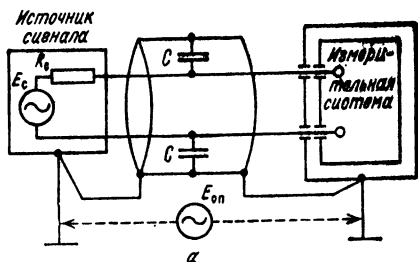


Рис. 1.122

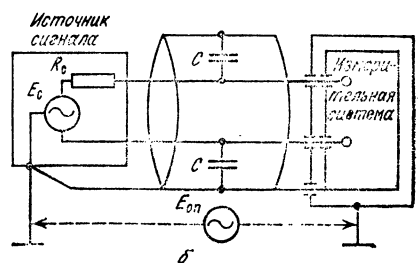
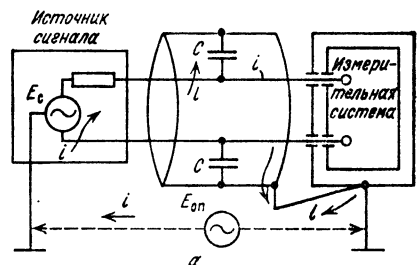


Рис. 1.123

5. Выбор соответствующего экранированного кабеля. Уровень помех можно значительно уменьшить за счет кабеля с хорошей экранировкой. Экранировка кабеля путем намотки проводом плохо защищает систему от больших контурных токов и сильного магнитного поля. Лучший результат дает применение кабеля с хорошей электропроводностью.

Через коммутатор подключаются и передаются входные сигналы непосредственно на измерительный прибор, поэтому термо-э. д. с. коммутирующих элементов, контактное сопро-

тивление, сопротивление изоляции, а также развязка между коммутирующим элементом и управляющей цепью являются прямыми источниками помех и вызывают разбаланс сигнальных линий, что, естественно, увеличивает наведенную помеху. Поэтому в системах сбора и обработки данных используются электромеханические коммутаторы с низким уровнем термо-э. д. с., малым контактным сопротивлением в замкнутом состоянии, с высоким сопротивлением изоляции и с хорошей изоляцией между коммутирующим элементом и схемой управления.

1.17. Системы сбора и обработки данных

Системы сбора и обработки данных типа 1001 и 1002 агрегатированы из радиоизмерительных приборов общего применения. Варианты систем комплектуются приборами однотипными, но отличающимися по техническим характеристикам. Различные варианты исполнения систем исключают избыточность функций каждой модифицированной модели. Общее число вариантов построения систем в серии 30 (табл. 1.10, 1.11).

Системы построены из однофункциональных автономных приборов, имеющих определенную логику работы и взаимодействия друг с другом, и поэтому они обеспечивают непрерывное совершенствование каждого варианта систем, модификацию всей серии систем путем замены и введения в их состав вновь созданных или модернизированных радиоизмерительных приборов.

Системы измеряют амплитудные и частотно-временные параметры радиосигналов, токи и сопротивления радиоэлементов. В области радио- и электронной промышленности системы применяют при испытаниях радиоаппаратуры, проверке и разбраковке радиоэлементов, при исследованиях их временных характеристик, оценках качества работы и устойчивости к механическим и климатическим воздействиям, проверке монтажа.

Возможность построения измерительных систем положила начало широкому применению радиотехнических методов измерения в области авиации и судостроения для статических и динамических испытаний несущих конструкций самолета, подводного крыла скоростных судов, медицинских исследований, измерений режимов работы металлообрабатывающих инструментов и т. п.

Системы сбора и обработки данных 1001—1001/29

Системы сбора и обработки данных 1001—1001/29 (рис. 1.124) предназначены для программируемого автоматического измерения, обработки и регистрации измерительной информации в виде, удобном для дальнейшего использования.

Основные технические характеристики

Количество входных каналов 100. Каналы трехпроводные незаземленные для низкочастотных сигналов и одно-

Системы сбора и обработки данных 100'—1001/29

Приборы систем	1001	1001/1	1001/2	1001/3	1001/4	1001/5	1001/6	1001/7	1001/8	1001/9	1001/10	1001/11	1001/12	1001/13	1001/14	1001/15	1001/16	1001/17	1001/18	1001/19	1001/20	1001/21	1001/22	1001/23	1001/24	1001/25	1001/26	1001/27	1001/28	1001/29
Коммутатор измерительный 101	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Преобразователь напряжения В9-1	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Вольтметр цифровой универсальный В7-18	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Частотомер электронно-счетный ЧЗ-38	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Блок интервалов времени ЯЗЧ-45	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Коммутатор кодов 102	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Компаратор кодов 202	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Программатор штеккерный 306	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Преобразователь кодов 601	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Устройство цифropечатающее	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Цифроалфавитная машинка «Консул-254»	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Перфоратор ленточный ПЛ80-8	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

Таблица 1.11

Системы сбора и обработки данных 1002 — 1002/29

Приборы систем	1002																													
	1002	1002/1	1002/2	1002/3	1002/4	1002/5	1002/6	1002/7	1002/8	1002/9	1002/10	1002/11	1002/12	1002/13	1002/14	1002/15	1002/16	1002/17	1002/18	1002/19	1002/20	1002/21	1002/22	1002/23	1002/24	1002/25	1002/26	1002/27	1002/28	1002/29
Коммутатор измерительный 101/1	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Компаратор кодов 202/1	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Устройство программирующее 301 Б	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Фотосчитывающее устройство	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Синхронометр программирующийся 47-14/1	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Вольтметр цифровой универсальный В7-18	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Преобразователь напряжений В9-1	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Частотомер электронно-счетный ЧЗ-38	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Устройство цифроречепадающее 406	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Перфоратор ленточный	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Цифроалфавитная машина «Консул-254»	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Преобразователь кодов 601А/1	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Блок подготовки данных 506	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Коммутатор кодов 102А/1	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

проводные коаксиальные для высоко-
частотных сигналов

Пределы измеряемых величин:
напряжение постоянного тока 0,1—
1—10—100 В,
напряжение переменного тока 0,1—
1—10—100 В в диапазоне частот
10 Гц—1 МГц,
постоянный ток 10—10²—10³—10⁴
мкА,
сопротивление постоянному току
1—10—10²—10³—10⁴ кОм,
частота 10 Гц—1 МГц при измере-
нии вольтметром В7—18,
частота 10 Гц—50 МГц при изме-
рении частотомером ЧЗ-38,
период в диапазоне частот 0—1 МГц,
интервалы времени 10⁻⁵—10 с при
наличии в системе блока интервалов
времени ЯЗЧ-45

Погрешность измерения:
при измерении постоянных напряже-
ний

$$\delta_{U_{\text{п}}} = \pm \left(0,05 \pm 0,02 \frac{U_{\text{к}}}{U_{\text{х}}} \right) \%,$$

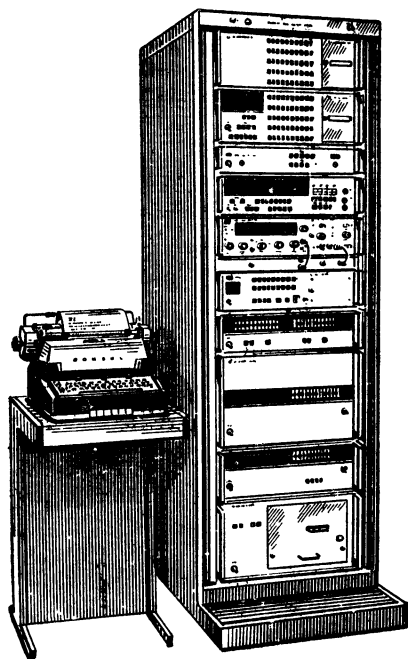


Рис. 1.124

в диапазоне частот 10 Гц—1 МГц

$$\delta_{U_{\sim}} = \pm (2 + U_{\text{к}}/U_{\text{х}}) \% + \delta_{U_{\text{п}}},$$

в диапазоне частот 100 Гц—100 кГц

$$\delta_{U_{\sim}} = \pm (0,3 + 0,2 U_{\text{к}}/U_{\text{х}}) \% + \delta_{U_{\text{п}}},$$

при измерении постоянного тока и
сопротивления

$$\delta_A = \pm (0,1 + 0,1 A_{\text{к}}/A_{\text{х}}) \%$$

при $t = 1$ с; 0,1 с

$$\delta_A = \pm (0,1 + 2 A_{\text{к}}/A_{\text{х}}) \% \text{ при } t = 0,01 \text{ с},$$

при измерении частоты

$$\delta_f = \pm \delta_0 \pm 1/f_{\text{х}} t_{\text{сч}},$$

при измерении периода

$$\delta_T = \pm \delta_0 \pm \frac{3 \cdot 10^{-3}}{n} \pm \frac{1}{f_0 T_{\text{х}} n}$$

при синусоидальной форме сигнала,

$$\delta_T = \pm \delta_0 \pm \frac{1}{f_0 T_{\text{х}} n}$$

при импульсной форме сигнала,

при измерении интервалов времени

$$\delta_{\tau} = \pm \delta_0 \pm \frac{1}{f_0 \tau_{\text{х}}},$$

где $U_{\text{к}}$ — значение установленного
предела напряжения, $U_{\text{х}}$ — измеряе-
мое напряжение, $A_{\text{к}}$ — значение уста-
новленных пределов токов и сопротив-
лений, $A_{\text{х}}$ — значение измеряемого то-
ка или сопротивления, δ_0 — относи-
тельная погрешность частоты внутрен-
него кварцевого генератора или об-
разцовой частоты внешнего генерато-
ра, $f_{\text{х}}$ — измеряемая частота, $t_{\text{сч}}$ —
время счета, $n = 1, 10, 10^2, 10^3, 10^4$ —
коэффициент усреднения измеряемого
периода, f_0 — частота заполнения (мет-
ки времени), $T_{\text{х}}$ — измеряемый период,
 $\tau_{\text{х}}$ — измеряемый интервал времени.

Скорость работы системы при реги-
страции на устройстве цифрпечатаю-
щем до 10 каналов в 1 с, на перфо-
раторе ПЛ-80/8 до 5 каналов в 1 с, на

цифроалфавитной машинке «Консул-254» до 1 канала в 1с

Обработка результатов измерения по принципу БОЛЬШЕ — НОРМА — МЕНЬШЕ, ГОДЕН — НЕГОДЕН

Регистрация результатов измерений производится на бумажной ленте, бумажном бланке и на перфоленте

Режим работы: ручной, автоматический (циклический, непрерывный)

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В

Потребляемая мощность от 300 до 600 ВА в зависимости от варианта системы

Условия эксплуатации: температура от $+5$ до $+40^\circ\text{C}$, относительная влажность до 95% при $+30^\circ\text{C}$

Габаритные размеры

596×1985×900 мм

В вариантах систем с ЦАМ «Консул-254» размер столика 700×580×440 мм

Масса 215—300 кг в зависимости от варианта системы.

Системы сбора и обработки данных 1001—1001/29 (рис. 1.125) состоят из стандартных приборов, причем состав их меняется в зависимости от решаемых задач. В табл. 1.8 приведены 30 вариантов исполнения системы.

Состав и назначение приборов системы следующий:

Коммутатор измерительный 101 последовательно передает электрические сигналы от 100 источников информации к измерительным приборам (частотомеру или вольтметру) и программирует их работу.

Преобразователь напряжений В9-1 преобразует среднее значение переменного напряжения в пропорциональное постоянное.

Вольтметр цифровой универсальный В7-18 измеряет постоянное напряжение, постоянный ток, сопротивление постоянному току, частоту, а также переменное напряжение совместно с преобразователем В9-1.

Частотомер электронно-счетный Ч3-38 измеряет частоту, период и интервал времени совместно с блоком интервалов времени ЯЗЧ-45.

Коммутатор кодов 102 передает результаты измерений от измерительных

приборов к аппаратуре обработки и регистрации.

Компаратор кодов 202 производит обработку результатов измерений по принципу БОЛЬШЕ — НОРМА — МЕНЬШЕ или ГОДЕН — НЕГОДЕН.

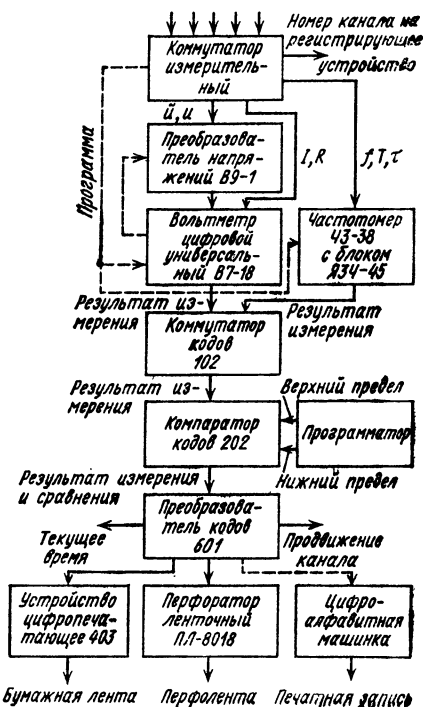


Рис. 1.125

Программатор штеккерный 306 обеспечивает программирование верхнего и нижнего пределов компаратора.

Преобразователь кодов 601 принимает результаты измерений и обрабатывает их в форму, пригодную для регистрации на цифropoleчающем устройстве, цифроалфавитной машинке и перфоленте.

Устройство цифropoleчающее регистрирует результаты измерения и обработки на бумажной ленте.

Цифроалфавитная машинка «Консул-254» регистрирует результаты измерения и обработки на бумажных бланках в виде таблиц.

Перфоратор ленточный ПЛ-80/8 регистрирует на перфоленте результаты измерений и обработки.

штеккерном наборном поле с помощью штеккеров с диодами, которые вставляются в определенные отверстия наборного поля коммутатора 101 и замыкают соответствующие линии его (рис. 1.126).

Программирование пределов компа-

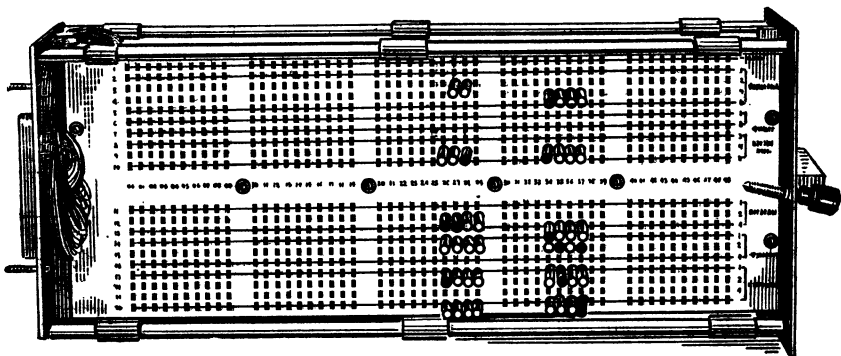


Рис. 1.126

Выбор необходимых каналов производится с помощью кнопочных переключателей на передней панели коммутатора. Для каждого выбранного канала программируется вид измерения, пределы и время измерения, задержка начала работы измерительного прибора (для установки сигнала на входе измерительного прибора), а также номер выходного канала. Программирование осуществляется на

ратора осуществляется на штеккерном наборном поле программатора 306 в двоично-десятичном коде (рис. 1.127). На каждый предел отводится 10 разрядов (восемь разрядов — мантисса, девятый разряд — знак, десятый — порядок числа). Программатор обеспечивает программирование до 20 различных пар пределов.

В системе осуществляется программирование формата слова при помощи

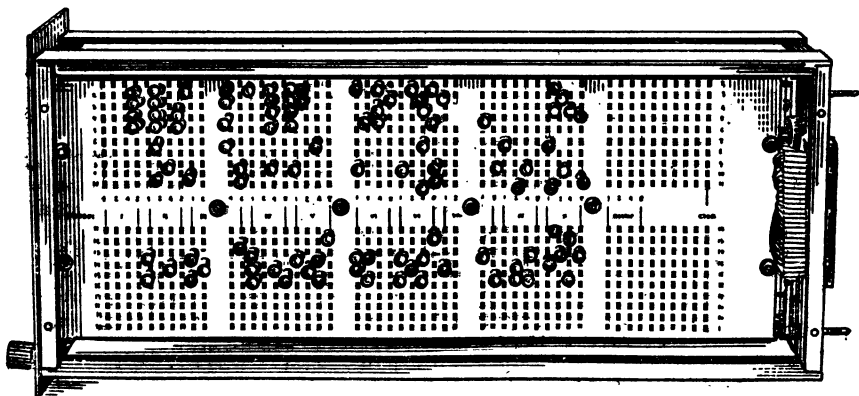


Рис. 1.127

наборного поля преобразователя кодов, представляющего собой колодку с тремя рядами гнезд. Программируются порядок регистрации разрядов, количество разрядов и наличие служебных символов при регистрации на перфоленте или цифроалфавитной машинке, при этом допускается параллельная работа цифropечатающего устройства.

Наличие электронных часов в преобразователе кодов позволяет осуществить привязку измерений к текущему времени, а также переключение входных каналов с интервалом времени, предварительно установленным на часах. Каналы могут переключаться также и от внутреннего генератора коммутатора 101 со скоростью, выбранной на передней панели прибора с помощью кнопочного переключателя.

Номер канала, программного слова программатора, результаты измере-

ний и обработки, текущее время индицируются на передней панели системы и регистрируются на бумажной ленте, печатных страницах или перфоленте в зависимости от типа регистрирующего устройства.

Системы сбора и обработки данных 1001—1001/29 кроме выполнения основных функций — измерения параметров электрических величин, могут производить измерение физических параметров (температуры, давления, ускорения, смещения, скорости, массы и т. д.) с помощью датчиков-преобразователей, преобразующих физические величины в электрические. Системы просты в обслуживании, не требуют специально обученного персонала и при их применении можно значительно полнее проверить и охарактеризовать измеряемый объект, а также повысить производительность и достоверность измерений.

Системы сбора и обработки данных 1002—1002/29

Системы сбора и обработки данных 1002—1002/29 (рис. 1.128) предназначены для программируемого автоматического сбора, измерения, обработки и регистрации измерительной ин-

формации в виде, удобном для дальнейшего использования.

Основные технические характеристики

Количество входных каналов 100. Каналы трехпроводные незаземленные для низкочастотных сигналов и однопроводные коаксиальные для высокочастотных сигналов

Пределы измеряемых величин:
напряжение постоянного тока 0,1—1—10—100 В,

напряжение переменного тока 0,1—1—10—100 В в диапазоне частот 10 Гц—1 МГц,

постоянный ток 10—10²—10³—10⁴ мкА,

сопротивление постоянному току 1—10—10²—10³—10⁴ кОм,

частота 10 Гц—1 МГц при измерении вольтметром В7-18,

частота 10 Гц—50 МГц при измерении частотомером ЧЗ-38,

период в диапазоне частот 0—1 МГц,

интервал времени 10⁻⁵—10 с

Погрешность измерения:

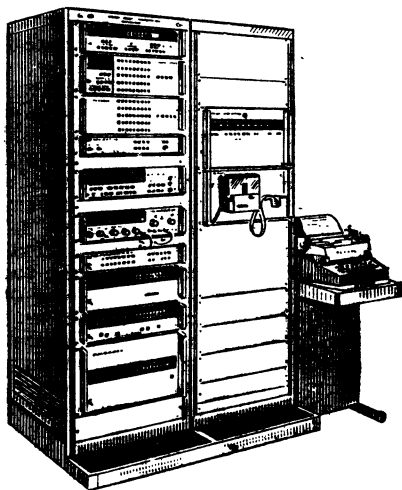


Рис. 1.128

при измерении постоянных напряжений

$$\delta_{U_{\text{п}}} = \pm (0,05 + 0,02 U_{\text{к}} / U_{\text{x}}) \%,$$

в диапазоне частот 10 Гц—1 МГц

$$\delta_{U_{\text{н}}} = \pm (2 + U_{\text{к}} / U_{\text{x}}) \% + \delta_{U_{\text{п}}},$$

в диапазоне частот 100 Гц—100 кГц

$$\delta_{U_{\text{н}}} = \pm (0,3 + 0,2 U_{\text{к}} / U_{\text{x}}) \% + \delta_{U_{\text{п}}},$$

при измерении постоянного тока и сопротивления

$$\delta_A = \pm (0,1 + 0,1 A_{\text{к}} / A_{\text{x}}) \% \text{ при } t = 1 \text{ с,}$$

$$0,1 \text{ с,}$$

$$\delta_A = \pm (0,1 + 2 A_{\text{к}} / A_{\text{x}}) \% \text{ при } t = 0,01 \text{ с,}$$

при измерении частоты

$$\delta_f = \pm \delta_0 \pm 1 / f_x t_{\text{сч}},$$

при измерении периода

$$\delta_T = \pm \delta_0 \pm \frac{3 \cdot 10^{-3}}{n} \pm \frac{1}{f_0 T_x n}$$

при синусоидальной форме сигнала,

$$\delta_T = \pm \delta_0 \pm \frac{1}{f_0 T_x n}$$

при импульсной форме сигнала,
при измерении интервалов времени

$$\delta_T = \pm \delta_0 \pm \frac{1}{f_0 T_x}.$$

Скорость работы системы 10 каналов в 1 с.

Обработка результатов измерений производится по принципу БОЛЬШЕ — НОРМА — МЕНЬШЕ и ГОДЕН — НЕГОДЕН

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц, напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 600—1250 ВА в зависимости от варианта исполнения

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40° С, относительная влажность до 95% при +30° С

Габаритные размеры 1186×1935××960 мм (варианты исполнения 1002—1002/16), 596×1985×900 мм (варианты исполнения 1002/17—1002/29)

Масса 220—430 кг в зависимости от варианта исполнения.

Структурная схема системы приведена на рис. 1.129. Измеряемые сигналы с контролируемого объекта в запрограммированной последовательности подсоединяются к измерительным приборам (вольтметру В7-18, преобразователю напряжений В9-1, частотомеру ЧЗ-38) путем замыкания входного и выходного каналов измерительного коммутатора 101. От измерительных приборов информация о знаке, мантиссе, порядке и размерности измеряемой величины в параллельном двоично-десятичном коде 8—4—2—1 поступает на входные каналы коммутатора кодов 102, который работает в режиме произвольной выборки каналов. Информация от измерительных приборов на компаратор кодов передается по мере ее поступления. Компаратор кодов сравнивает код результата измерения с пределами (верхним и нижним), задаваемыми от программирующего устройства 301. После сравнения он выдает код результата измерения и сравнения в параллельном двоично-десятичном коде на регистрирующее устройство. Регистрация может производиться или на перфораторе и ЦПМ, или только на ЦПМ, или на цифроалфавитной машинке «Консул-254». Для уменьшения избыточности системы имеется 30 вариантов исполнения. Это позволяет для каждой конкретной задачи, решаемой системой, выбрать оптимальный с точки зрения стоимости и надежности состав приборов. Варианты исполнения системы отличаются типом измерительных приборов и регистрирующих устройств. Постоянными для всех вариантов являются следующие приборы и устройства:

коммутатор измерительный 101/1, подключающий контролируемые сигналы к измерительным приборам,

устройство программирующее 301Б, управляющее режимами работ измерительных приборов и вспомогательного оборудования по программе, считываемой с перфоленты,

компаратор кодов 202/1, сравнивающий код измеренной величины с заданными пределами (верхним и нижним) по принципу БОЛЬШЕ — НОРМА — МЕНЬШЕ,

фотосчитывающее устройство, считывающее программу с перфоленты и в виде комбинации импульсов переда-

ющее ее на программирующее устройство.

Тип измерительных приборов, включаемых в состав системы, зависит от ее назначения. Для измерения постоянного напряжения, постоянного тока, сопротивления, частоты до 1 МГц используется вольтметр В7-18. Если необходимо измерить переменное напряжение, добавляют преобразователь напряжений В9-1. Для измерения периода, интервала времени и частоты в диапазоне частот 10 Гц — 50 МГц

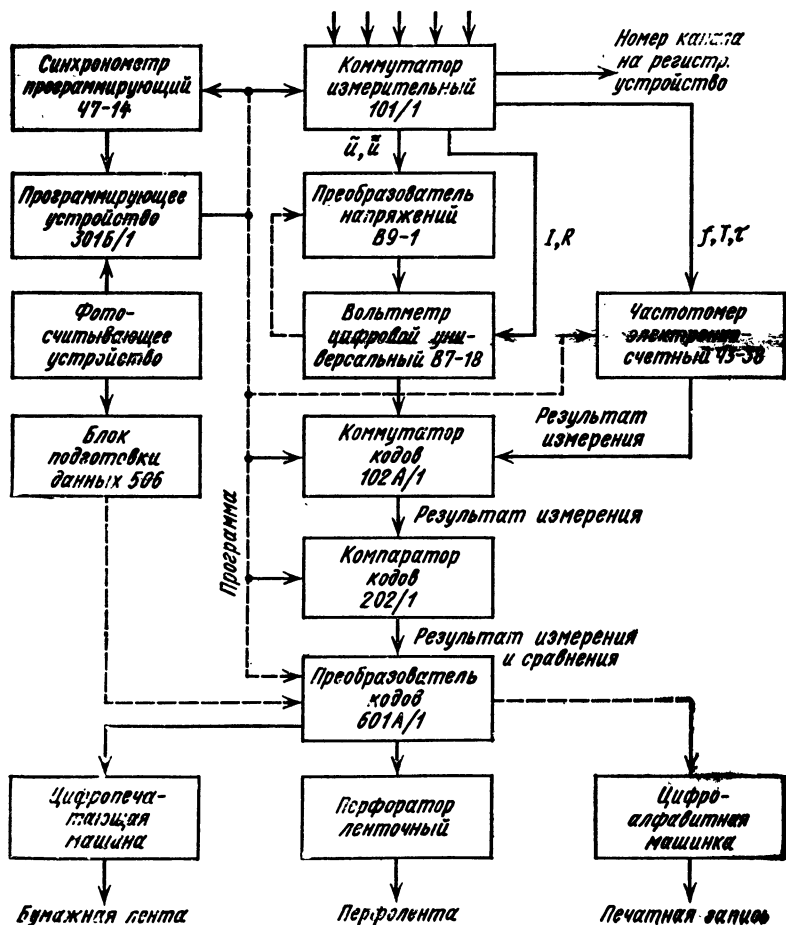


Рис. 1.122

в состав системы включают частотомер ЧЗ-38.

Тип регистрирующего устройства, входящего в состав определенного варианта исполнения, определяет быстродействие системы. Наибольшего быстродействия — опрос 10 каналов в 1 с можно достичь при регистрации цифр печатающим устройством. При использовании в качестве регистрирующего устройства ленточного перфоратора максимальное быстродействие — опрос до 4 каналов в 1 с. При

ния программы согласно ГОСТ 13052—74 используются кодовые комбинации (рис. 1.130). Служебным командам и номерам адресов соответствуют алфавитные символы, цифры используются для задания режимов работы измерительным приборам и вспомогательной аппаратуре. При составлении программы необходимо знать режимы работы приборов и порядок записи их на перфоленте. Вся программа состоит из отдельных слов, которые в свою очередь состоят из

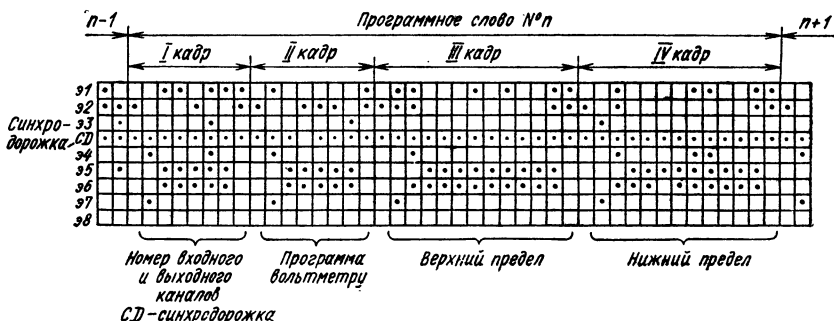


Рис. 1.130

регистрации на цифроалфавитной машинке «Консул-254» система может опрашивать не более 1 канала в 1 с.

Система может работать в синхронном и асинхронном режимах. При работе системы в асинхронном режиме переход от одного цикла измерений к другому происходит по сигналу начала регистрации. Это позволяет добиться максимального быстродействия. При работе системы в синхронном режиме смена циклов измерений происходит по командам ОПРОС, поступающим от синхронизатора программирующего ЧЗ-14. Период повторения команды задается при составлении программы. Кроме того, при составлении программы указывается время начала выполнения программы измерений. В программе измерений можно предусмотреть изменения частоты синхронизирующих импульсов.

Для составления программы измерений не требуется специально подготовленного персонала. Для написа-

кадров. Программное слово включает инструкцию для одного цикла измерения и обработки. В кадре записывается программа для режимов работы одного прибора. В начале кадра записывается служебная команда НТ, затем номер адреса. Далее идут цифры, соответствующие заданным режимам работы. В конце кадра записывается служебная команда КТ. Порядок следования кадров может быть любым.

В программе измерений задаются:

- время начала работы и период повторения импульсов ЗАПУСК и ОПРОС по шестому адресу для синхронизатора программирующего ЧЗ-14;
- род работы, время измерения, выбор пределов, постоянная времени фильтра (при измерении переменного напряжения) по девятому адресу для цифрового вольтметра ВЗ-18;
- род работы, метки времени, множитель или время счета по пятому адресу для электронно-счетного частотомера ЧЗ-38;

— номера входного и выходного каналов, а также время задержки импульса запуска по восьмому адресу для коммутатора измерительного 101;

— верхний предел по третьему и нижний предел по четвертому адресам для компаратора кодов;

— код операции выбора вида регистрирующего устройства.

При необходимости в программе измерений предусматривается команда

выдачи кода времени на регистрирующее устройство и команда записи фиксированных данных, набранных с помощью переключателей на передней панели преобразователя кодов 601.

Подготовка перфоленты производится с помощью блока подготовки данных 506, входящего в состав системы. Для вариантов, в которых этот блок отсутствует, необходимо иметь устрой-

Таблица 1.12
Краткие характеристики систем К734 и К200

Параметр	Система К734	Система К200
Количество входных каналов	10—100	100
Пределы измеряемых величин:		
— постоянное напряжения, В	$\pm 1; \pm 10$	1—100
— отношение двух напряжений постоянного тока	$\pm 100\%$ при $U_0 = (2-10) \text{ В}$	Не измеряется
— переменного напряжения в диапазоне частот	50 мВ, 500 мВ, 5 В	То же
— постоянный ток	50 В, 30 Гц—20 Гц	„
Погрешность измерения, %:	$\pm 10 \text{ мА}$	
— постоянного напряжения,	$0,02 + \frac{0,2}{U_x}$	$\pm \left[0,2 + 0,1 \times \left(\frac{U_n}{U_x} - 1 \right) \right]$
— отношения двух напряжений постоянного тока,	$0,02 + \frac{0,3}{U_0} + \left(0,02 + \frac{0,3}{U_0} \right) \times \frac{100}{K_x}$	
— переменного напряжения,	$0,2 + 0,1 \frac{U_K}{U_x}$	
— постоянного тока	$0,03 + 0,3 / I_x$	
Программирование	Программирующим устройством со штеккерным наборным полем	Штеккерным наборным полем
Регистрирующее устройство	ЭУМ-23, ПЛ-150	ЭУМ-23, ПЛ-150
Габаритные размеры, мм	500 × 500 + 587	480 × 390 × 560

Примечание. U_{Π} — значение установленного предела, U_x — измеряемое напряжение, U_K — конечное значение диапазона, измерения, I_x — измеряемый ток, U_0 — опорное напряжение, K_x — измеряемое отношение

ство для набивки перфоленты, например УПДЛ «Брест-1Т».

Системы сбора и обработки данных 1001—1002/29 могут использоваться в различных областях народного хозяйства для измерения как электрических величин, так и физических параметров (скорости, ускорения, температуры, давления и т. д.). Для этого необходимы датчики-преобразователи

физических величин в электрические сигналы.

С помощью этих систем можно повысить скорость и достоверность измерений, что позволит полнее и надежнее охарактеризовать измеряемый объект.

Кроме рассмотренных, в табл. 1.12 приведены краткие данные об измерительных системах К734 и К200,

Список литературы

1. Аппаратура для частотных и временных измерений. Под ред. А. П. Горшкова. М., «Сов. радио», 1971. Авт. Благов В. А., Домбровский А. С., Зайцев В. Н., Пантелеев А. В., Ульянов А. А., Фатеев Б. П.
2. Домбровский А. С., Зайцев В. Н.,

- Пашев Г. П. Аппаратура для измерения времени и частоты. — «Измерительная техника», 1974. № 6, с. 63—65.
3. Радиоизмерительные приборы. Каталог — проспект. М., НИИЭИР, 1975.



Глава 2

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

2.1. Общие сведения

Электрические характеристики большинства радиотехнических объектов можно определить по их реакции на входной сигнал с заданными параметрами. Получение такого сигнала обеспечивает измерительный генератор — источник электрических колебаний, частота, напряжение (мощность), спектральный состав или степень модуляции сигнала которого могут регулироваться в некоторых пределах и отсчитываться (или устанавливаться) с гарантированной для данного прибора точностью. Пределы регулировки параметров сигнала определяют эксплуатационные возможности генератора.

Точности, с которыми отсчитываются параметры сигнала, определяют метрологические характеристики измерительного генератора.

Основной эксплуатационной характеристикой генератора является диапазон перекрываемых им частот f_{\min} — f_{\max} , такой частотный интервал, в котором сигнал измерительного генератора соответствует всем нормам по точности, предписанным данному прибору. Если существует сигнал за пределами этого диапазона частот, то он не является эталонным и требует дополнительной калибровки.

Аналогично можно определить диапазон регулировки величины выходного сигнала U_{\min} — U_{\max} или P_{\min} — P_{\max} , пределы регулировки глубины амплитудной модуляции M , величины девиации для режима частотной модуляции F , длительности импульса в ре-

жиме импульсной модуляции $t_{\text{и}}$ и так далее.

Частота измерительных генераторов, как правило, регулируется двумя ступенями: переключением и плавно. Часть частотного диапазона генератора, в котором частота сигнала устанавливается плавно, называется поддиапазоном. Перекрытие поддиапазонов обеспечивает непрерывность регулировки частоты во всем диапазоне. В генераторах, где весь частотный диапазон перекрывается плавно, понятие «поддиапазон» не используется.

В измерительных генераторах, диапазон которых перекрывается дискретной сеткой частот, поддиапазоном принято считать декадный участок диапазона.

Регулировка амплитуды выходного сигнала производится в широких пределах и так же двумя ступенями: изменением опорного уровня сигнала $U_{\text{оп}}$ или $P_{\text{оп}}$ и изменением величины ослабления, вводимого в тракт выходного сигнала после установки опорного уровня.

Под опорным уровнем сигнала понимают величину выходного сигнала при нулевом или каком-либо ином определенном значении ослабления в тракте, причем именно при этом значении ослабления производится калибровка генератора по опорному уровню. Пределы изменения выходного сигнала U_{\min} — U_{\max} или P_{\min} — P_{\max} определяются обычно диапазоном величины ослабления ат-

тенюатора, которая выражается следующей формулой:

$$A = 20 \lg \frac{U_{\max}}{U_{\min}} \quad \text{или} \quad A = 10 \lg \frac{P_{\max}}{P_{\min}}.$$

Иногда в технических условиях на генератор вместо пределов регулирования выходного сигнала указывается диапазон изменения ослабления аттенюатора.

К основным эксплуатационным характеристикам генератора относятся также значение его выходного сопротивления (импеданс). Выходное устройство измерительного генератора может быть представлено схемой рис. 2.1.

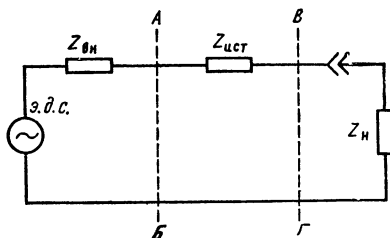


Рис. 2.1.

В подавляющем большинстве случаев напряжение в сечении AB поддерживается постоянным, не зависящим от сопротивления нагрузки (справа от сечения AB), что обеспечивается ручной или автоматической регулировкой уровня выходного сигнала и соответствует нулевому выходному сопротивлению слева от сечения AB . В этом случае выходное сопротивление генератора становится равным $Z_{ист}$. Согласованное выходное напряжение в сечении $BГ$ обеспечивается, если $Z_n = Z_{ист}$, причем величина его равна половине значения напряжения в сечении AB . В некоторых, особенно низкочастотных, измерительных генераторах постоянным, не зависящим от нагрузки, поддерживается напряжение в сечении $BГ$. Генератор с таким выходным устройством имеет нулевое (или близкое к нулевому) выходное сопротивление и может использоваться для работы с несогла-

сованными нагрузками.

Совокупность метрологических характеристик измерительного генератора можно разделить на четыре группы:

- основные погрешности установки параметров сигнала,
- дополнительные погрешности установки параметров сигнала,
- сопутствующие погрешности сигнала,
- дрейф параметров сигнала (нестабильность).

Основные погрешности установки параметров сигнала генератора (частоты, опорного уровня, степени модуляции) определяют предельно допустимое отклонение значения данного параметра от установленного по отсчетным органам генератора, находящегося в нормальных условиях эксплуатации.

Дополнительные погрешности обусловлены влиянием на генератор внешних воздействий (влияющих факторов) или изменением режимов работы прибора. К причинам, вызывающим эти погрешности, относятся: изменение температуры, колебания напряжения сети, изменение других параметров сигнала, например изменение частоты из-за включения режима модуляции. Дополнительные погрешности оцениваются отдельно по каждому влияющему фактору в предположении, что остальные находятся в пределах нормальных значений.

Сопутствующие погрешности сигнала обуславливаются невозможностью получения идеального монохроматического сигнала. К этой группе параметров относятся различные виды паразитной модуляции сигнала, гармонические и негармонические дополнительные составляющие и шумы в составе сигнала.

Дрейф параметров сигнала обуславливается неидеальностью технических процессов формирования сигнала, нестационарными процессами внутри прибора.

Основная погрешность установки частоты сигнала измерительного генератора складывается из двух составляющих. Первая, вносящая наибольший вклад в погрешность, определяется калибровкой шкалы прибора.

Она возникает из-за неточности нанесения на шкалу риски или числовых значений частоты при механическом счетчике. Если генератор настроен на частоту $f_{\text{вых}} + \Delta f$, а при настройке риска на шкале обозначена как $f_{\text{вых}}$, значение Δf составит величину погрешности из-за калибровки. Эту составляющую погрешности можно уменьшить введя дополнительно калибровку или построив поправочный график.

Вторая составляющая основной погрешности установки частоты возникает из-за наличия люфтов в механизме настройки частоты. В этом случае визир отсчета частоты (или шкала) может отставать (или опережать) орган перестройки частоты. Этот вклад в погрешность можно уменьшить, если устанавливать частоту, подходя к ней только в одном направлении. При этом составляющая из-за люфта станет систематической и может быть устранена дополнительной калибровкой.

Составляющая основной погрешности из-за неточности совмещения риски с визиром носит случайный характер и определяется опытом и мастерством оператора. В генераторах с диапазононо-кварцевой стабилизацией и с дискретным набором частоты точность ее установки определяется дискретностью сетки и точностью опорного кварцевого генератора. В этом случае вторая составляющая погрешности аналогична неточности, определяемой калибровкой.

Основная погрешность установки опорного уровня сигнала измерительного генератора также включает в себя две составляющие: вносимую неточностью калибровки прибора и определяемую частотной неравномерностью опорного уровня. Сущность этих составляющих легко пояснить рис 2.2. Линия 1 указывает на установленное по шкале прибора значение опорного уровня, линия 2 — на действительное значение опорного уровня сигнала в диапазоне частот, измеренное образцовым измерительным прибором. На частоте $f_{\text{кал}}$ производится калибровка опорного уровня. Из-за несовершенства калибровки

может отличаться от установленного. Это отличие и составит ошибку из-за калибровки $\Delta U_{\text{кал}}$. Из-за несовершенства датчика опорного уровня его показания изменяются в диапазоне частот. Отклонение действительной величины сигнала в диапазоне частот от действительной величины на частоте калибровки определяет составля-

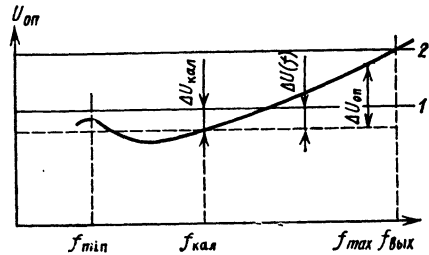


Рис. 2.2

ющую погрешности опорного уровня из-за частоты $\Delta U(f)$ или частотную неравномерность опорного уровня. Погрешность, вносимая неточностью калибровки опорного уровня, в значительной степени обусловливается отклонениями величины нагрузки, на которой производится калибровка, от реальной. Поэтому в генераторах, работающих с произвольными нагрузками (например в низкочастотных), очень часто нормируется только частотная составляющая погрешности (неравномерность амплитудно-частотной характеристики).

В большинстве генераторов под основной погрешностью установки опорного уровня понимается допустимый предел отклонения действительной величины выходного сигнала при нулевом ослаблении (или калибровочном значении ослабления) от номинального значения этого сигнала $\Delta U_{\text{оп}}$ на любой частоте диапазона.

Наряду с погрешностью опорного уровня и одинаково с ней по значимости следует рассматривать основную погрешность ослабления аттенюатора: отклонение действительной величины ослабления в тракте сигнала от номинального значения, отчитываемого по шкалам генератора.

В генераторах, работающих в диапазоне частот ниже 1—2 ГГц, аттенюаторы, как правило, строятся на основе дискретных коммутируемых ячеек ослабления. Естественно, что с ростом ослабления нарастает и погрешность общего ослабления, и его частотная зависимость. Поэтому в отдельных случаях величина погрешности ослабления нормируется в зависимости от величины ослабления и иногда — в зависимости от частоты сигнала, т. е. аттенюатор одного и того же прибо-

Режимы модуляции генераторов характеризуются основными погрешностями установки глубины модуляции (режим амплитудной модуляции), девиации частоты (режим частотной модуляции) и длительности импульса (режим внутренней импульсной модуляции).

Основная погрешность установки глубины модуляции представляет собой разность между действительной глубиной модуляции сигнала $M_{изм}$ и отсчитанной по шкале прибора $M_{ном}$:

$$\Delta M = M_{ном} - M_{изм}.$$

Эта величина определяется на одной опорной частоте модуляции (обычно 1 кГц) и на нескольких частотах диапазона и выражается в процентах модуляции. Так, если генератор имеет погрешность установки глубины модуляции $\pm 10\%$ и по его шкале установлено значение глубины модуляции 60%, то действительное значение глубины модуляции сигнала лежит в пределах от 50 до 70%. Иногда погрешности установки глубины модуляции задается в процентах от установленного значения плюс некоторая величина в процентах модуляции.

Основная погрешность установки девиации частоты определяется отношением разности между действительным значением девиации $F_{изм}$ и установленным по шкале прибора номинальным значением $F_{ном}$ к максимальному значению девиации по используемой шкале прибора:

$$\delta F = \frac{F_{ном} - F_{изм}}{F_{max}} \cdot 100\%.$$

Величина основной погрешности установки девиации измеряется на одной опорной частоте модуляции (обычно 1 кГц) и на нескольких частотах диапазона.

Основная погрешность установки длительности импульса гарантируется только в режиме внутренней импульсной модуляции и характеризует одновременно качество собственно модулирующего генератора (формирователь импульсов) и искажения длительности импульса в тракте модулятора. Кроме погрешности установки

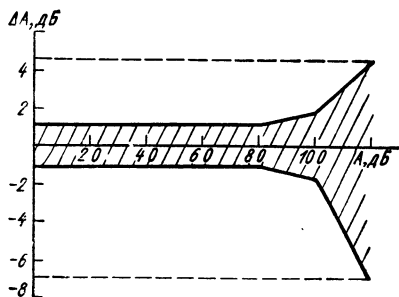


Рис. 2.3

ра может иметь различную погрешность на различных ослаблениях и частотах сигнала. В измерительных генераторах особо оговаривается увеличение погрешности ослабления аттенюатора на минимальном сигнале, обусловленное паразитным остаточным сигналом и равное половине минимальной гарантируемой величины сигнала. Так, если минимальный сигнал измерительного генератора 1 мкВ, допускается наличие остаточного паразитного сигнала на уровне 0,5 мкВ, что составит дополнительную погрешность на минимальном уровне сигнала +3,5 дБ или —6 дБ. У аттенюатора с пределами ослабления 120 дБ и с погрешностью ± 1 дБ вклад остаточного паразитного сигнала 0,5 мкВ в общую погрешность аттенюатора можно проиллюстрировать рис. 2.3. Из него видно, что погрешность аттенюатора из-за остаточного паразитного сигнала увеличивается только при больших ослаблениях

длительности импульса, качество импульсной модуляции зависит от формы выходного импульса и затухания сигнала в паузе между импульсами. Последняя характеристика свидетельствует о неполном запирании модулятора и выражается как отношение сигнала в паузе между импульсами к среднеквадратическому значению напряжения во время импульса. Элементы формы импульса определены ГОСТ 16465—70 и ясны из рис. 2.4, где τ_n — длительность прямоугольного импульса; $\tau_{фн}$ — длительность фронта прямоугольного импульса;

от нормального значения или при выходе за пределы нормальной области значений. Воздействию внешних влияющих факторов подвержены в той или иной степени практически все параметры генерируемого сигнала — частота, амплитуда и форма сигнала (модуляции). Поэтому к каждой основной погрешности установки параметров сигнала приписывается соответствующая дополнительная погрешность из-за влияния температуры и колебаний напряжения сети. В отдельных случаях, когда эти погрешности малы, их не оговаривают, а

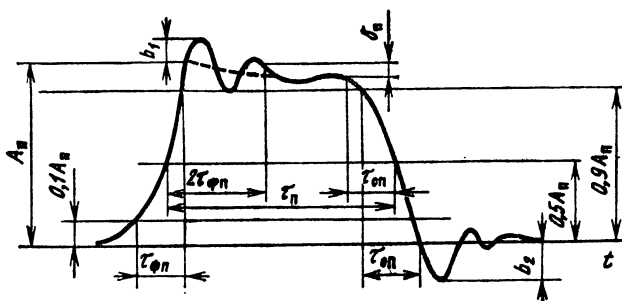


Рис. 2.4

$\tau_{сп}$ — длительность среза прямоугольного импульса; b_1 — выброс на вершине; b_2 — выброс в паузе; δ_n — неравномерность вершины; A_n — амплитуда импульса. Для всех режимов внутренней модуляции одной из основных погрешностей является погрешность частоты модуляции: отклонение действительной частоты модуляции от ее номинального значения.

Как основная погрешность генератора проявляется отклонение действительной величины выходного сопротивления от номинального значения. В высокочастотных генераторах это отклонение нормируется через коэффициент стоячей волны напряжения $K_{св}$. В генераторах низкой частоты задается допустимое отклонение выходного сопротивления от номинала.

Дополнительные погрешности установки параметров сигнала измерительного генератора определяются изменениями значений параметров сигнала, возникающими при отклонениях одного из влияющих факторов

включают в состав основной погрешности. В остальных случаях они не превышают половины основной погрешности. Дополнительные погрешности из-за влияния температуры нормируются двумя способами: как температурный коэффициент какого-либо параметра или как основная погрешность отсчета этого параметра в рабочих условиях эксплуатации. Второй способ нормирования не дает информации о подверженности генератора воздействию температуры, поэтому менее универсален.

Дополнительные погрешности из-за колебаний напряжения сети задаются, как правило, на 10% изменения сетевого напряжения. Эти изменения влияют на параметры сигнала двумя путями: непосредственно на величину параметра (например, на частоту генератора через изменение емкости коллекторного перехода генераторного транзистора), либо через изменение теплового режима (отклонение частоты генератора из-за изменения тока

через транзистор, вызванное изменением температуры в приборе). Первое воздействие проявляется практически сразу после изменения напряжения сети, второе — спустя некоторое время. Если в приборе имеются органы подстройки, то при измерениях дополнительных погрешностей, вызываемых тепловыми процессами, допускается подстройка параметра с помощью этих органов (но без использования каких-либо других приборов, кроме исследуемого).

Большую группу дополнительных погрешностей составляют так называемые погрешности взаимодействия — влияния регулировки одного параметра на другой. К этим погрешностям относятся:

- реакция аттенуатора на частоту — изменение частоты, вызванное регулировкой напряжения (мощности) на определенную величину;

- реакция включения модуляции — изменение частоты при включении режима амплитудной (или импульсной) модуляции;

- погрешность опорного уровня в режиме АМ и ИМ — изменение величины опорного уровня при включении этих режимов;

- реакция нагрузки — изменение частоты генератора при отклонениях импеданса нагрузки от номинальной величины.

Режимы модуляции характеризуются дополнительными погрешностями в диапазоне модулирующих частот — отклонением глубины модуляции (девиации частоты) на произвольной частоте модуляции от значения этого параметра на опорной частоте модуляции (обычно 1 кГц).

Сопутствующие нежелательные параметры сигнала измерительного генератора появляются в результате неидеальности процессов формирования сигнала. Немонохроматичность сигнала проявляется в виде гармонических и негармонических составляющих. Допустимый их уровень нормируется либо коэффициентом гармоник, либо отношением уровней каждой из гармонических и негармонических составляющих (порознь). Первый способ нормирования применяется в низкочастотных генераторах:

$$\alpha' (I_{\text{вых}}) = \frac{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_n^2}}{U_1} \cdot 100\%,$$

где U_1, U_2, \dots, U_n — амплитуда каждой из гармоник сигнала; второй способ нормирования применяется в генераторах высокой частоты:

$$\alpha (I_{\text{вых}}) = 20 \lg \frac{U_n}{U_1}.$$

Различие способов нормирования связано с применяемой аппаратурой: на низких частотах при измерениях с помощью измерителя нелинейных искажений определяется непосредственно коэффициент гармоник; на высоких частотах при измерениях с помощью анализатора спектра или селективного вольтметра (измерительного приемника) удобнее нормировать уровни гармонических и негармонических составляющих.

Размытость спектральной линии основной составляющей сигнала в режиме немодулированных колебаний (режим НГ) определяется процессами паразитной частотной и амплитудной модуляции. Поскольку процессы паразитной модуляции в общем случае не синусоидальны, то под девиацией паразитной ЧМ понимается такая девиация синусоидальной ЧМ, при которой напряжение на выходе линейного частотного дискриминатора пропорционально среднеквадратическому значению в установленной полосе частот при паразитной модуляции. Полоса частот при нормировании девиации паразитной ЧМ принимается обычно 20 Гц — 20 кГц. Коэффициент паразитной амплитудной модуляции определяется как отношение среднеквадратического значения напряжения сигнала на выходе линейного амплитудного детектора, измеренное в полосе частот модуляции, установленной для данного генератора, к постоянной составляющей этого напряжения.

На выходном разъеме измерительного генератора наряду с основным сигналом обычно имеется шумовой, в той или иной степени ослабленный по отношению к основному. Под

уровнем шума измерительного генератора понимается среднеквадратическое значение напряжения, измеренное при определенной расстройке от несущей частоты в полосе один герц и выраженное через отношение к основной составляющей сигнала.

Режимы модуляции также сопровождаются нежелательными сопутствующими процессами. Это в первую очередь искажения формы модулирующего сигнала в модуляторе, т. е. отклонение закона, по которому изменяется тот или иной параметр сигнала на выходе генератора, от закона изменения этого параметра на входе генератора. Оцениваются эти искажения коэффициентом гармоник огибающей модулированного сигнала. Эти понятия в равной степени применимы к режимам амплитудной и частотной модуляции. В режиме импульсной модуляции эквивалентами этих понятий являются затягивание фронта и среза модулирующего импульса, возникновение неравномерности и перекоса вершины импульса, появление выбросов на вершине и в паузе импульса.

Кроме искажения формы модулирующих сигналов, режимы модуляции сопровождаются, как правило, возникновением сопутствующих модуляций. Так, при установке режима амплитудной модуляции возможно появление сопутствующей частотной модуляции. Обычен и обратный процесс. Нормирование сопутствующей модуляции (АМ в режиме ЧМ или ЧМ в режиме АМ) производится при определенном уровне основной модуляции. Так, сопутствующая ЧМ обычно нормируется в режиме 30%-ной амплитудной модуляции.

В высокочастотных генераторах режим импульсной модуляции сопровождается изменением несущей частоты в течение импульса. Мерой этого изменения служит разность между максимальным и минимальным значением частоты в пределах импульса. Иногда ее учитывают как отношение к номинальному значению частоты.

У генераторов с формой выходного сигнала, отличной от синусоидальной, как основные погрешности оговариваются отличия этих форм от номинальных: длительности фронта и сре-

за и перекоса вершины при прямоугольном выходном сигнале (рис. 2.4), нелинейность пилообразной и треугольной формы и т. д. Подробнее об этой специфичной терминологии изложено в § 2.2.

Последнюю группу метрологических параметров измерительных генераторов составляют параметры дрейфа, обусловленного нестационарностью процессов в конструкции генератора. Поэтому они должны определяться в неизменяющихся внешних условиях. За нестабильность (частоты, амплитуды, уровня модуляции) принимается отношение разности максимального и минимального значения данного параметра за определенный интервал времени (обычно 15 мин), произвольное выбранное по истечении определенного времени самопрогрева. Для стабильных генераторов и для мало изменяющихся параметров время измерения может устанавливаться более 15 мин. Время самопрогрева отсчитывается с момента включения прибора. Иногда оговаривается дополнительное время самопрогрева после перестройки режимов прибора, переключений поддиапазонов частот и т. д.

Во время измерения неустойчивости и во время предшествующего самопрогрева внешние условия должны сохраняться, коммутация и перестройка режимов работы прибора должны быть полностью исключены.

Современные измерительные генераторы перекрывают диапазон частот от тысячных долей герца до десятков гигагерц. Специфика измерительных задач различных участков этого диапазона и особенности технических решений, характерные для этих участков, позволяют выделить шесть групп измерительных генераторов:

- инфранизкочастотные,
- низкочастотные,
- радиовещательного диапазона с режимом амплитудной модуляции,
- метрового и дециметрового диапазона с режимами амплитудной, частотной и импульсной модуляции,
- СВЧ с режимами частотной и импульсной модуляции,
- с диапазоном-кварцевой стабилизацией частоты.

2.2. Инфранизкочастотные генераторы сигналов специальной формы

Группа генераторов сигналов специальной формы немногочисленна. В нее входят приборы, которые, кроме обязательной синусоидальной формы выходного сигнала, обеспечивают получение иных форм: прямоугольной, пилообразной, в виде прямоугольных коротких импульсов, меандра и т. д. Диапазон частот сигналов генераторов специальной формы начинается, как правило, в инфразвуковой области (0,001 Гц) и доходит в отдельных приборах до десятков и сотен килогерц. Из-за большого разнообразия форм сигналов и параметров, их характеризующих, специфических режимов, присущих только отдельным приборам, чрезвычайно широкого диапазона частот не существует единых нормативных документов, определяющих параметры генераторов специальной формы и классифицирующих их. На них распространяются только общий для всех радиоизмерительных приборов ГОСТ 9763—67 и технические условия на каждый конкретный тип генератора.

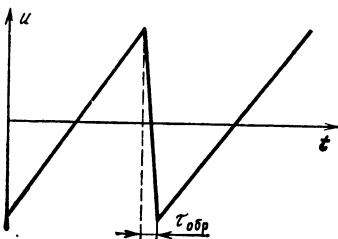
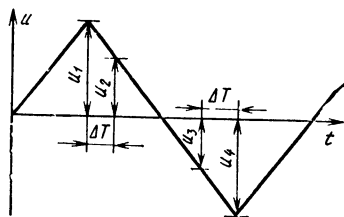


Рис. 2.5

Характерным для генераторов сигналов специальной формы является нормирование требований к формам сигналов, отличных от синусоидального. Форма треугольного и пилообразного напряжений (рис. 2.5) характеризуется коэффициентом нелинейности

$$K_H = 2 \frac{(u_1 - u_2) - (u_3 - u_4)}{(u_1 + u_2) + (u_3 + u_4)}$$

при произвольном значении интервала ΔT . Характеристикой пилообразного сигнала является также длитель-

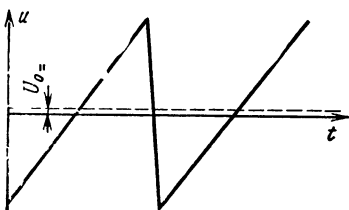
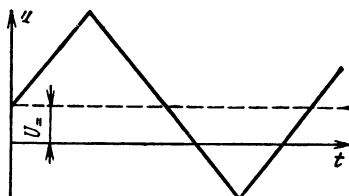


Рис. 2.6

ность обратного хода напряжения $\tau_{обр}$. Постоянная составляющая выходного сигнала генератора специальной формы U_0 может, как правило, регулироваться в некоторых пределах относительно нуля. Её остаточная величина при установленном нулевом значении (смещение нулевой линии) U_0 определяется в технических условиях наряду с возможными пределами её регулировки (рис. 2.6).

Форма синусоидального и импульсного сигналов характеризуется обыч-

2.2. Инфранизкочастотные генераторы сигналов специальной формы

ными для этих сигналов параметрами (§ 2.1).

α ($f_{\text{вых}}$), $\tau_{\text{п}}$, $\tau_{\text{фп}}$, $\tau_{\text{сп}}$, B_1 .

Ряд генераторов сигналов специальной формы имеют несколько выходов с различными фазами сигналов. В этом случае задается погрешность разности фаз между сигналами $\Delta\varphi$.

Генераторы сигналов специальной формы предназначены для использования при разработке, производстве и контроле аппаратуры от инфранизкочастотного до ультразвукового диапазонов. Например, при работе с геофизической аппаратурой генераторы могут имитировать инфранизкочастотные колебания, распространяющиеся в водной среде; при работе с медицинской аппаратурой генераторы могут выдавать сигнал с частотой, аналогичной частоте дыхания или пульса.

Широкое применение инфранизкочастотные генераторы находят при анализе систем автоматического регулирования, частота колебаний которых лежит в инфразвуковой области, и в вычислительной технике аналогового действия.

Эксплуатация генераторов специальной формы сопровождается некоторыми сложностями с метрологическим обеспечением проверки их основных характеристик. Это относится к измерению амплитуды сигнала произвольной формы в диапазоне частот 0,001—1000 Гц, измерению коэффициента гармоник синусоидального и коэффициента нелинейности треугольного и пилообразного сигналов в том же диапазоне, измерению фазовых сдвигов между сигналами. Измерить указанные параметры с помощью серийной стандартной аппаратуры невозможно; для этого требуется приме-

Таблица 2.1

Генераторы сигналов специальной формы

Тип прибора	Диапазон частот Гц	Максимальный выходной сигнал, В	Форма сигнала	Основная особенность	Способ построения	Примечания
ГЗ-39	0,01—11100	10	Синусоидальная	4 фазы через 90°	Фазоинверсный	Заменен Г6-26
Г6-11	0,001—100	—	Синусоидальная, прямоугольная, треугольная	Универсальный	На биениях	Заменен Г6-15
Г6-14	0,001—1000	—	Синусоидальная, прямоугольная, треугольная, пилообразная	То же	Функциональный, релаксационный	Заменен Г6-15
Г6-15	0,001—1000	10	Синусоидальная, прямоугольная, треугольная, пилообразная, синхронимпульс на отдельном выходе	2 фазы через 90°	Двухструктурный	
Г6-26	0,001—10000	10	Синусоидальная, прямоугольная, синхронимпульс	4 фазы через 90°	Интеграторный	

нить нестандартное оборудование и специальные методики. В технических описаниях на генераторы приводятся сведения по проведению таких измерений с точностью и в объеме, необходимом для данного прибора.

Краткие сведения о находящихся в настоящее время в эксплуатации инфранизочастотных генераторах сигналов специальной формы даны в табл. 2.1.

Существует несколько методов получения инфранизочастотных сигналов сложных форм. Из них наиболее перспективными являются интеграторный и метод функционального преобразования. Их достоинства состоят в следующем. Интеграторный метод, реализованный в приборе Г6-26, позволяет получать многофазный синусоидальный сигнал с малым коэффициентом гармоник. Метод функцио-

нального преобразования, использованный в приборе Г6-15, позволяет получить более высокие частоты синусоидального сигнала, однако форма его хуже, чем у интеграторного генератора, кроме того, этот способ не позволяет получить многофазного сигнала. Двухструктурный генератор Г6-15 использует комбинацию обоих методов. Метод функционального преобразования пока не получил достаточного распространения в отечественных генераторах, в то время как реализация всех его возможностей позволяет обеспечить верхнюю границу частотного диапазона в районе десятка мегагерц, дистанционное управление частотой с линейным законом, возможность синхронизации колебаний, запуск одиночных и серий импульсов, режимы модуляции частоты и амплитуды.

Интеграторный генератор сигналов специальной формы Г6-26

Прибор (рис. 2.7) обеспечивает получение многофазного синусоидального, прямоугольного и синхросигнала с калиброванными амплитудой, фазовыми сдвигами и формой.

Основные технические характеристики

Диапазон частот 0,001—10 000 Гц

Основная погрешность установки частоты $\pm 2\%$

Диапазон частот, Гц	Нестабильность частот, Г
10—1000	0,3
1000—10000	0,5

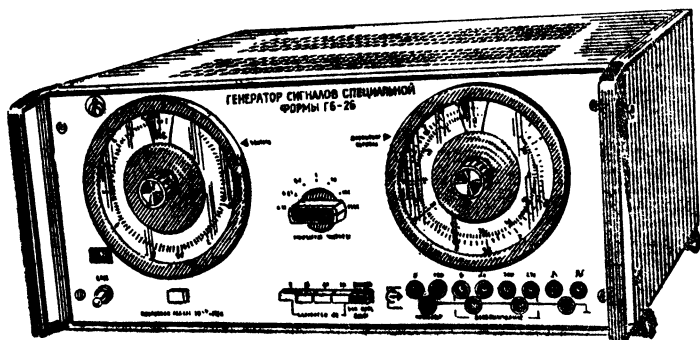


Рис. 2.7

Параметры синусоидального сигнала

Пределы выходного напряжения
10⁻³ — 1 В

Фазы выходного сигнала 0°, 90°, 180°, 270°

Диапазон частот, Гц	Относительная погрешность установки опорного уровня, %
0,5—1000 1000—10000	±2,5 ±3

Уровень гармоник в выходном сигнале генератора 0,5%

Смещение нулевого уровня (при максимальном уровне сигнала) 0,2%

Параметры сигнала прямоугольной формы

Величина выходного напряжения 10 В

Длительность фронта и среза сигналов 0,5 мкс

Параметры синхросигнала

Выходное напряжение +5 В

Длительность импульса 10 мкс

Питание от сети переменного тока частотой 50±0,5 Гц. напряжением 220±22 В

Потребляемая мощность 75 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35°С, относительная влажность до 65% при ±20°С

Габаритные размеры

490×215×475 мм

Масса 20 кг

Основу прибора (рис. 2.8) составляют два последовательно соединенных интегратора на операционных усилителях У2 и У3. Каждый из них создает на частоте

$$\omega = \frac{1}{RC} \frac{U_1}{U_2}$$

сдвиг фазы сигнала 90° (U_1 и U_2 — сигналы на входе и выходе интегратора). Суммарный фазовый сдвиг в двух интеграторах 180°. Пропущенный через инвертирующий усилитель У1 выходной сигнал цепочки интеграторов попадает вновь на вход цепочки усиленным и в нужной фазе. В замкнутом кольце возникают авто-

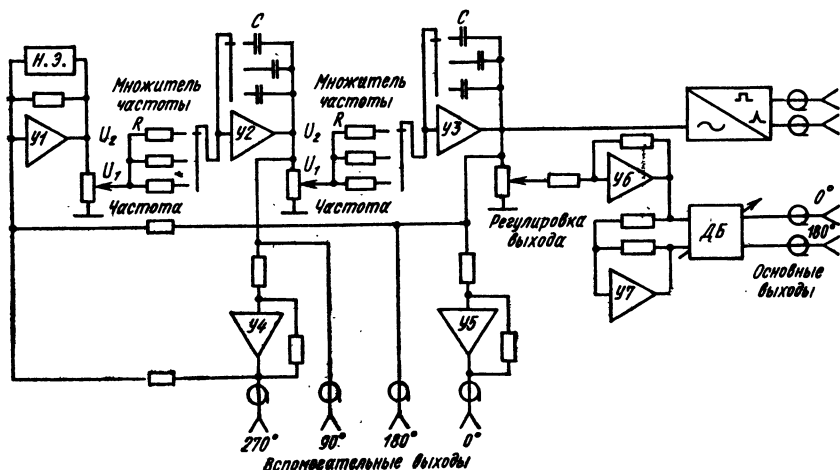


Рис. 2.8

колебания на частоте ω . Усилитель У1 имеет усиление, обеспечивающее компенсацию потерь в интеграторах. При таких условиях в линейной цепи возникают нарастающие колебания, причем рост амплитуды продолжается до уровня отсечки.

Чтобы обеспечить получение неискаженных колебаний, в цепь обратной связи усилителя включено нелинейное устройство, регулирующее коэффициент передачи усилителя У1 и компенсирующее возникающие гармонические искажения. Местная цепь обратной связи через усилитель У4 служит также для стабилизации амплитуды колебаний.

Замкнутая система с двумя интеграторами является моделью колебательного звена. В ней, если все ее элементы линейны, генерируются синусоидальные колебания (с медленно нарастающей амплитудой). Отсечка вершин синусоиды, наступающая вследствие ограниченности линейного участка характеристик усилителей, компенсируется добавочным нелинейным элементом. На выходе основного генерирующего звена интеграторного генератора сигнал имеет в принципе синусоидальную форму. Регулировка частоты сигнала производится двумя ступенями: грубо переключением поддиапазонов — коммутацией конденсаторов в цепях интегрирования и плавно в пределах поддиапазона — регулировкой отношений напряжений U_1/U_2 . В принципе с помощью органа плавной регулировки можно изменять частоту в очень больших пределах. Однако при слишком малых сигналах уменьшается компенсирующее действие цепей обратной связи, нарушается стабильность и форма генерируемых колебаний.

В приборе Г6-26 величина плавного перекрытия выбрана 1:10. Однако, используя запасы на шкале и не обращая внимания на изменения амплитуды, можно получить и большее перекрытие. Способ получения многофазного сигнала на выходах 0° , 90° , 180° и 270° с помощью усилителей-инверторов У4 и У5 понятен из рис. 2.8. Через потенциометр регулировки выхода сигнал с интеграторов подается на входы усилителя основ-

ного канала и формирователя сигналов. В формирователе при помощи схемы с Z-образной характеристикой синусоидальный сигнал превращается в прямоугольный и в синхрипульс, выведенные на соответствующие выходы прибора. В усилителях основного канала сигнал распадается по фазе на два противофазных напряжения и через двоянный аттенюатор выводится на основные выходы генератора. Постоянство максимальной амплитуды сигнала на выходах прибора обеспечивается действием огра-

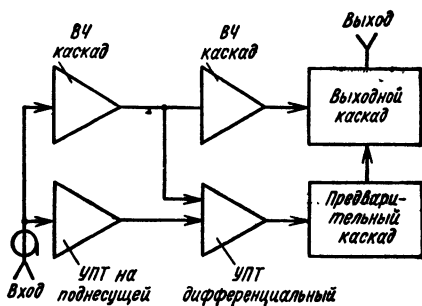


Рис. 2.9

нивающей цепи обратной связи с нелинейным элементом, а также использованием выходных усилителей с постоянной частотной характеристикой. Отсчет напряжения производится по шкале потенциометра регулировки выхода в пределах 20 дБ и по шкале ступенчатого резистивного аттенюатора в пределах 60 дБ через 20 дБ.

Основной схемной частью прибора Г6-26 является операционный усилитель, используемый либо в режиме интегратора (У2 и У3), либо в режиме инвертора (У4 и У5), либо в режиме усилителя (У1). Для обеспечения высоких характеристик — большой полосы пропускания, малого дрейфа нуля и большого входного сопротивления при большом коэффициенте усиления — операционный усилитель выполнен по трехканальной схеме (рис. 2.9). Низкочастотная составляющая входного сигнала усили-

вается входным каскадом УПТ, затем дифференциальным каскадом УПТ с предварительным и выходным каскадами. Среднечастотные составляющие проходят через входной каскад усилителя ВЧ и дифференциальный УПТ с предварительным и выходными каскадами. Подъем частотной характеристики в области верх-

них частот обеспечивается каскадом усиления высокой частоты, выходной сигнал которого суммируется с сигналами других каналов в выходном каскаде.

Генератор Г6-26 предназначен для настройки и контроля систем, работающих в инфразвуковом и звуковом диапазонах частот.

Двухструктурный генератор сигналов специальной формы Г6-15

Прибор (рис. 2.10) обеспечивает получение синусоидального, треугольного, пилообразного и прямоугольного напряжений и синхрои́мпульсов с калиброванной частотой, амплитудой и формой сигнала.

Основная погрешность установки выходного напряжения 3% при уровне сигнала 10 В — 10 мВ

Неравномерность амплитудно-частотной характеристики не более 2,5%

Коэффициент гармоник синусоидального сигнала не более 1,5%

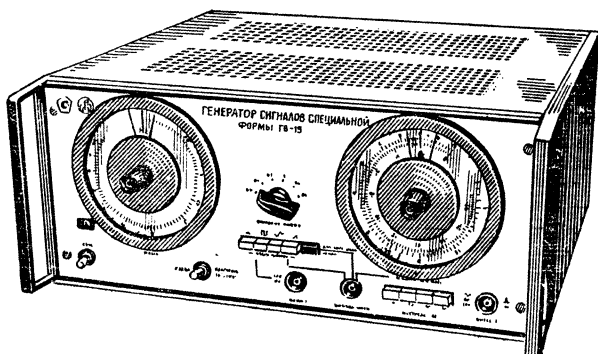


Рис. 2.10

Основные технические характеристики

Диапазон частот 0,001—1000 Гц
Основная погрешность установки частоты 2%

Нестабильность частоты:

0,5% в диапазоне частот 10—1000 Гц,

1% в остальном диапазоне за 1 ч работы

Пределы выходного напряжения от 10 мВ до 10 В

Коэффициент нелинейности сигнала треугольной формы не более 2% в диапазоне частот от 0,001 до 0,1 Гц

Величина смещения нулевого уровня	Диапазон изменения выходного напряжения, В
0,003 $u_{\text{вых}} + 3$ мВ 0,03 $u_{\text{вых}} + 3$ мкВ	0,01—10 10^{-3} —0,1

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц и напряжением 220 ± 22 В

Потребляемая мощность 75 ВА

Условия эксплуатации: температура от $+10$ до $+35^\circ\text{C}$, относительная влажность до 80% при $+20^\circ\text{C}$

Габаритные размеры

490×215×475 мм

Масса 20 кг

Прибор (рис. 2.11) может работать в двух режимах: интеграторном (ИГ) и функциональном (ФГ). В режиме ИГ работает часть схемы, отмеченная на рис. 2.11 горизонтальным прямоугольником. Переключатели, изо-

браженные на схеме, находятся в положении ФГ. Работа этой схемы изложена при описании прибора Г6-26. В режиме ИГ прибор Г6-15 обеспечивает получение трех синусоидальных напряжений с фазами 0° — основной выход, 180° — выход I, 90° — выход II.

Величина сигнала на основном выходе регулируется плавно потенциометром $R8$ и ступенями по 20 дБ аттенуатором. Плавная перестройка частоты осуществляется потенциометрами $R4$, $R6$, переключение поддиапазонов — коммутацией конденсаторов $C1$, $C2$ и $C3$, $C4$. Включение интеграторного режима происходит при

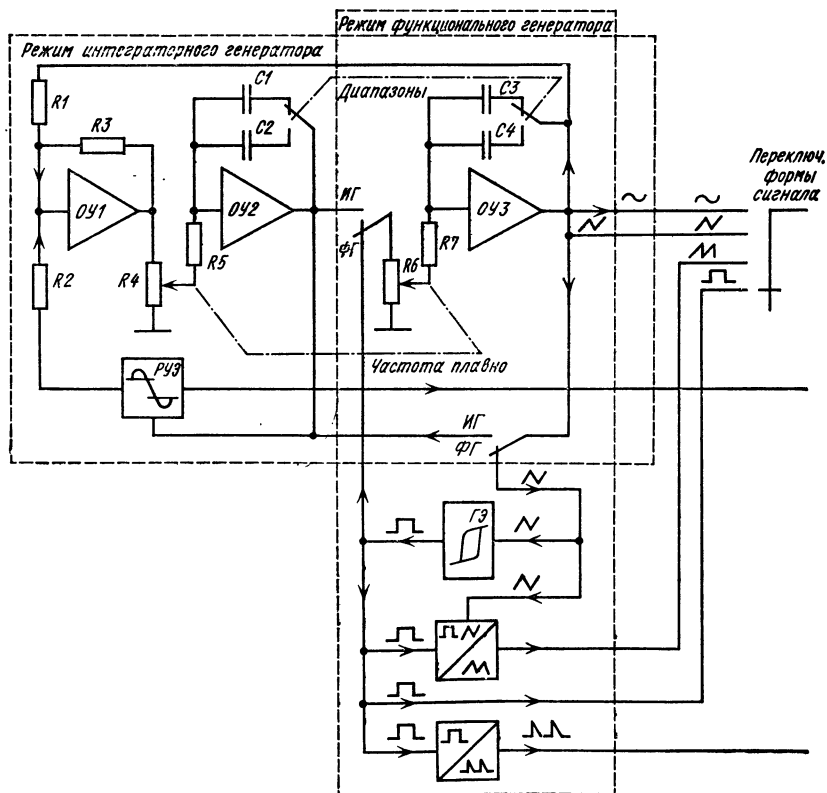


Рис. 2.11

нажатии кнопки ФОРМА СИГНАЛА \sim . При нажатии кнопки ФОРМА СИГНАЛА \square , \triangle , \wedge , ∇ прибор Г6-15 переходит в режим ФГ. переключатели на схеме занимают положение ФГ и работает часть схемы, отмеченная на рис. 2.11 вертикальным прямоугольником. На принципе ее работы следует остановиться подробно, так как в настоящее время функциональные генераторы получают значительное распространение. Функция передачи интегрирующего усилителя, показанного на рис. 2.12, а, определяется выражением

$$F(S) = \frac{u_{\text{вых}}(S)}{u_{\text{вх}}(S)} =$$

$$= \frac{1}{(1+A)RCS+1} \approx \frac{1}{RCS} \text{ при } A \rightarrow \infty,$$

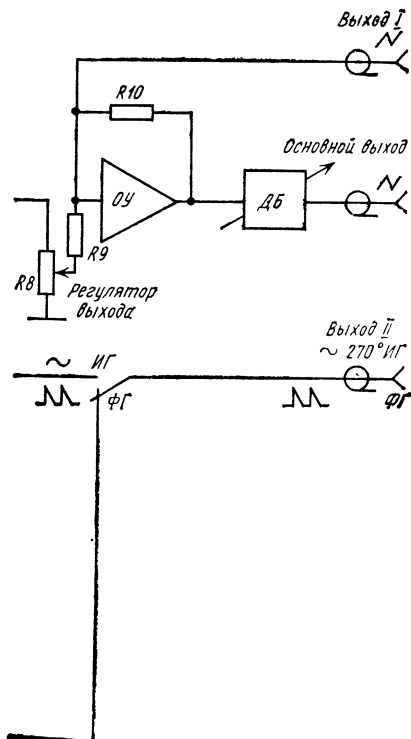
где A — коэффициент усиления усилителя без обратной связи; S — оператор Лапласа.

Если на вход подать ступеньку напряжения с амплитудой U_m , то

$$u_{\text{вых}}(S) = F(S) u_{\text{вх}}(S) = \frac{U_m}{RCS^2}$$

или, переходя к функциям времени,

$$u_{\text{вых}}(t) = \frac{U_m}{RC} t.$$



Выходное напряжение усилителя при подаче на его вход ступеньки напряжения линейно нарастает, причем скорость нарастания определяется постоянной времени RC и величиной поданной ступени напряжения. Когда выходное напряжение интегратора (рис. 2.12,б) достигнет определенной величины, сработает гистерезисный элемент (ГЭ) и ступенька напряжения на входе интегратора оборвется. Начнется разряд конденсатора по тому же закону. При нулевом значении выходного напряжения гистерезисный элемент ГЭ сработает вновь и процесс повторится. Разница значений напряжений переброса гистерезисного элемента жестко определяет удвоенную амплитуду напряжения треугольной формы на выходе интегрирующего усилителя. Измерений и коррекций ее не требуется, она постоянна в диапазоне частот генератора. Выходное напряжение гистерезисного элемента также постоянно и определяет размах прямоугольного выходного напряжения генератора. Эти две формы выходного напряжения получают непосредственно в функциональном генераторе и являются исходными для получения сигналов иных форм.

Потенциометр, стоящий на входе интегрирующего усилителя (R_9 на рис. 2.12,б), уменьшает величину выходного напряжения гистерезисного элемента, тем самым замедляя заряд

конденсатора. Очевидно, что при смещении движка потенциометра к нулевому концу частота колебаний может снижаться до сколь угодно малой величины. Снижение ее ограничивают только утечки и собственные шумы операционного усилителя. Ступенчатая регулировка частоты (переход от поддиапазона к поддиапазону) обеспечивается коммутацией элементов R и C . В генераторе Г6-15 гистерезисный элемент сам является источником прямоугольного напряжения на входе интегратора. Частотоподающий потенциометр R_4, R_6 (рис. 2.11) оказывается включенным в цепь сигнала. На рис. 2.12, а показана иная схема его включения. Гистерезисный элемент управляет ключом, коммутирующим входной сигнал интегратора, не являясь его источником. Входной сигнал снимается с источника постоянного напряжения E_H через частотоподающий потенциометр R_H , не стоящий в цепи сигнала. Эта особенность функционального генератора определяет его перспективность: он очень легко, в больших пределах и по строго линейному закону управляется по частоте от внешнего источника управляющего сигнала.

Основным схемным элементом прибора Г6-15 (рис. 2.11) является операционный усилитель (ОУ). По принципу построения он подобен примененному в приборе Г6-26. Релейный элемент для работы в режиме ИГ построен по схеме двустороннего диодного ограничителя с термостабилизацией уровня отсечки. Гистерезисным элементом функционального генератора является усилитель постоянного тока с положительной обратной связью, выходное напряжение которого резко изменяется при достижении входным сигналом определенного уровня. Фиксация выходного уровня гистерезисного элемента обеспечивается включенными стабилитронами.

Пилообразное напряжение формируется в специальном формирователе (ФПН) из треугольного и прямоугольного сигналов и подается на переключатель формы. Сигналы с переключателя формы проходят через потенциометр плавной регулировки выхода R_9 на выход I и через инвертирующий усилитель и аттенуатор на основной выход. На выход II в режиме функционального генератора подаются синхрипульсы, снимаемые с формирователя синхрипульсов (ФСИ).

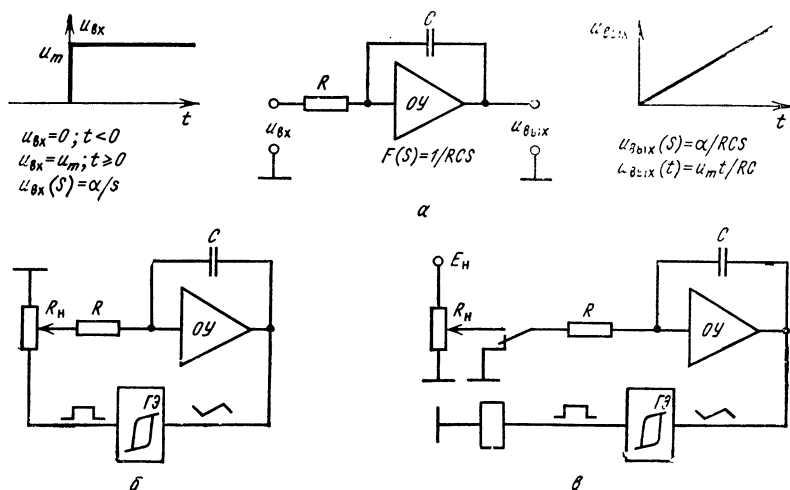


Рис. 2.12

Амплитуда синхронимпульсов составляет 5 В.

В режиме ИГ тумблером РАБОТА-ПОДГОТОВКА предусмотрен сброс начальных условий, обеспечивающий начало колебаний всегда из нулевой точки. При работе на частотах ниже 1 Гц перед переключениями поддиапазонов его надо ставить в положение

ПОДГОТОВКА, затем коммутировать поддиапазоны. После этого тумблер ставится в положение РАБОТА и можно плавно устанавливать частоту.

Генератор Г6-15 предназначен для контроля и регулировки аппаратуры, работающей в инфранизкочастотном диапазоне.

2.3. Генераторы сигналов низкочастотные

Низкочастотные генераторы сигналов являются источниками электрических синусоидальных сигналов на частотах от 20 Гц до 200—300 кГц. Имеется тенденция к расширению этого диапазона вниз до единиц герц и вверх до единиц мегагерц. Иногда на дополнительных выходах или в дополнительных режимах обеспечивается получение сигналов прямоугольной формы. Модуляция сигналов по амплитуде, как правило, отсутствует. Сигнал низкочастотного генератора калиброван по частоте, амплитуде и форме. Перечень параметров, которые должны быть приведены в технических условиях на низкочастотные генераторы, устанавливает ГОСТ 9788—69. Нормы на эти параметры и методики их проверки устанавливает ГОСТ 10501—74. Этот документ подразделяет генераторы на классы точности по частотным параметрам (F -параметрам) и параметрам выходного напряжения (V -параметрам). За индекс класса принимается значение основной погрешности установки частоты и опорного уровня выходного напряжения в процентах. Так, обозначение класса точности F_2U_4 показывает, что генератор имеет основную погрешность по частоте 2% и основную погрешность установки опорного уровня выходного напряжения 4%. В ГОСТ 10501—74 установлено шесть классов по точности отсчета частоты: F_{01} , F_{05} , F_1 , $F_{1.5}$, F_2 и F_3 , и пять классов по точности отсчета уровня выходного сигнала: U_1 , U_2 , $U_{2.5}$, U_4 и U_6 .

Остальные параметры генератора: нестабильность частоты, коэффициент гармоник, погрешность ослабления ат-

тенюатора, дополнительные погрешности частоты и амплитуды также определены в ГОСТ 10501—74. В нем для каждого класса точности установлены нормы, за пределы которых эти параметры не должны выходить. Так, при классе U_2 коэффициент гармоник у генератора не может быть больше 1%. Получение сигнала с более высокими характеристиками ГОСТом не ограничивается. Например, генератор ГЗ-107 при классе U_2 имеет коэффициент гармоник 0,2%.

ГОСТ 10501—74 допускает класс генераторов без нормирования основной погрешности установки опорного уровня выходного напряжения (класс U_-). Это относится к простым, портативным генераторам, не имеющим встроенного вольтметра или иных органов отсчета выходного сигнала. Однако и в этом случае для генератора гарантируются максимальная величина выходного сигнала, пределы его регулировки, коэффициент гармоник, неравномерность амплитудно-частотной характеристики и т. д.

ГОСТ 10501—74 допускает выпуск генераторов с более высокими классами точности. При этом индекс класса и, следовательно, значения основных погрешностей выбираются из ряда $K \cdot 10^n$, где K — любой из установленных ГОСТ 10501—74 индексов класса, а n — целое число. Пользуясь этим правилом, генератор ГЗ-101, имеющий основную погрешность по частоте $10^{-4}\%$, следует отнести к классу $F_{1.5}U_{2.5}$. Кроме норм на параметры ГОСТ 10501—74 устанавливает в общем виде методику их проверки: количество точек, в которых надо измерять тот или иной параметр, расчет

Гл. 2. Измерительные генераторы

ные формулы для определения величины погрешности, порядок проведения измерений и т. д. Измерительная схема и применяемая аппаратура устанавливаются в соответствии с этими методиками в технических условиях на каждый конкретный тип генератора.

В настоящее время в эксплуатации находятся более полутора десятков типов низкочастотных измерительных генераторов, включая старые модели.

Краткие сведения о них даны в табл. 2.2.

По назначению и способу построения эти генераторы подразделяются на три большие группы: *RC*-генераторы, генераторы с непрерывным перекрытием диапазона (на биениях) и генераторы с диапазонно-кварцевой стабилизацией частоты (ДКС). Их конструктивные и эксплуатационные особенности и характеристики подробно рассматриваются в последующих параграфах.

Таблица 2.2

Генераторы сигналов низкочастотные

Тип	Диапазон частот, Гц	Максимальный выходной сигнал	Коэффициент гармоник, %	Основная особенность	Способ построения	Примечание
ГЗ-7А (Г4-65А)	20—10 ⁶	2 В	3	Широкий диапазон	<i>RC</i> — <i>LC</i>	Заменен прибором Г4-117
ГЗ-18	20—20·10 ³	3 Вт	0,5—2	Непрерывный диапазон	На биениях	Заменен прибором ГЗ-104
ГЗ-35	20—200·10 ³	8 В	0,02—0,6	Прецизионная форма сигнала	<i>RC</i>	Заменен прибором ГЗ-102
ГЗ-36	20—200·10 ³	5 В	1—2	Портативный, для жестких условий эксплуатации	<i>RC</i>	Заменен прибором ГЗ-106
Г4-48	20—200·10 ³	8,65 В	1—2	Универсальный	<i>RC</i>	Заменен прибором ГЗ-102
ГЗ-49	0,01—10 ⁶	1 В	2—5	Прецизионный по частоте	ДКС	Заменен прибором ГЗ-105
ГЗ-56	20—200·10 ³	4 Вт (49 В)	2,5—4	Повышенной мощности	<i>RC</i>	
ГЗ-101	10 ³ —1,99·10 ⁶	1 В	5	Прецизионный по частоте	ДКС	
ГЗ-102	20—200·10 ³	8 В	0,02—0,2	Режим ЧТ. Прецизионная форма сигнала	<i>RC</i>	
ГЗ-104	20—40·10 ³	1,5 В	1—1,5	Непрерывное перекрытие диапазона	На биениях	
ГЗ-105	10—2·10 ⁶	1 В	2	Прецизионный по частоте	ДКС	
ГЗ-106	20—200·10 ³	5 В	0,3—1	Портативный, для жестких условий эксплуатации	<i>RC</i>	
ГЗ-107	20—200·10 ³	10 В	0,05—0,2	Прецизионный по уровню выходного сигнала	<i>RC</i>	
ГЗ-108	0,01—10 ⁶	2 В	1	Прецизионный по частоте	ДКС	
Г4-117	20—10·10 ⁶	30 В	1—3	Широкий диапазон	<i>RC</i>	

RC-генераторы

Группа низкочастотных RC-генераторов состоит из приборов ГЗ-7А (Г4-65А), ГЗ-35, ГЗ-36, ГЗ-48, ГЗ-56, ГЗ-102, ГЗ-106, ГЗ-107. К ним же по способу построения следует отнести прибор Г4-117, хотя его диапазон частот выходит за пределы низкочастотного. Характерным для RC-генераторов является отсутствие режимов модуляции, повышенные требования к форме генерируемого сигнала (особенно в звуковом диапазоне), десятикратное перекрытие по частоте на каждом поддиапазоне (исключение составляют лишь высокочастотные поддиапазоны прибора Г4-117).

Как наиболее перспективные, из группы RC-генераторов следует отметить генератор ГЗ-102 с прецизионной формой сигнала, генератор ГЗ-106 для жестких условий эксплуатации, генератор с прецизионным выходным напряжением ГЗ-107, широкодиапазонный генератор Г4-117. RC-генераторы предназначены для проведения исследований и контроля акустической, медицинской, геофизической аппаратуры. Они широко используются при контроле и настройке радиовещательных приемников и каналов звукового сопровождения телевизоров либо непосредственно как источники сигналов звуковых частот для каскадов НЧ (рис. 2.13,а), либо как источники модулирующих сигналов для генераторов более высоких частот (рис. 2.13,б). Широкодиапазонный RC-генератор перекрывает видеодиапазон телевидения. Генератор с прецизионной формой сигнала позволяет калибровать и контролировать НЧ каскады приемно-передающих станций и радиовещательных приемников высшего класса. RC-генератор с прецизионным выходным напряжением используется при точном измерении амплитудно-частотных характеристик четырехполосников и при измерениях стабильности коэффициентов передачи во времени или при воздействиях дестабилизирующих факторов. Он же может использоваться как генератор-калибратор при проверке низкочастотных милливольтметров и индикаторов

среднего класса точности. Особенно удобно его использовать для этой цели в сочетании с индуктивным делителем напряжения ДИ-2 (рис. 2.13,в).

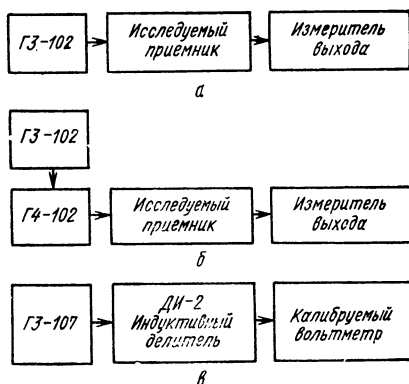


Рис. 2.13

Генератор ГЗ-106 позволяет проводить измерения амплитудно-частотных и амплитудных характеристик различных устройств звукового и ультразвукового диапазонов непосредственно в полевых условиях.

Структурные схемы (рис. 2.14,а) всех RC-генераторов аналогичны. Усилитель задающего генератора охвачен двумя цепями обратной связи. Положительная обратная связь осуществляется через частотозадающую RC-цепь (как правило Γ -образный четырехполосник, см. рис. 2.14,б). На частоте $f = 1/2\pi RC$ эта цепь обладает минимальным затуханием и создает нулевой сдвиг фазы. Усилитель с четным числом каскадов усиления компенсирует потери в четырехполоснике и на частоте f в генераторе возникают колебания. Коэффициент передачи цепи отрицательной обратной связи зависит от амплитуды сигнала. Цепи сбалансированы так, что в замкнутом кольце устанавливается стационарный режим автоколебаний, амплитуда которых не выходит за границу линейного участка амплитудной характери-

стики усилителя. Благодаря этому генерируемый сигнал имеет малые нелинейные искажения и постоянен по амплитуде при перестройке частоты.

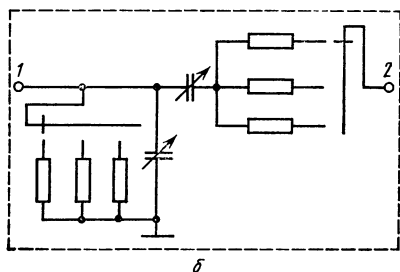
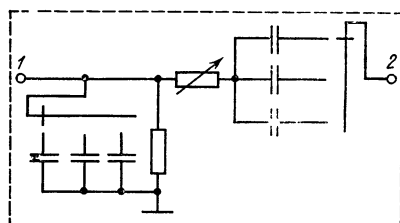
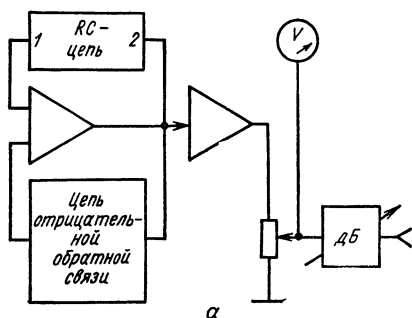


Рис. 2.14

Переход от поддиапазона к поддиапазону производится коммутацией конденсаторов постоянной емкости или резисторов, плавная перестройка частоты в пределах поддиапазона производится двоянным переменным резистором или сдвоенным конденсатором переменной емкости.

RC-генераторы имеют, как правило, одну общую шкалу на все поддиапа-

зоны, связанную через механизм сопряжения с органом плавной настройки частоты. Наличие некоторого фазового сдвига, создаваемого усилителем задающего генератора, вызывает отклонение генерируемой частоты от величины $f = 1/2\pi RC$ на единицы или доли герц. На верхних частотах этим отклонением можно пренебречь, однако в нижней части диапазона оно может существенно ухудшить погрешность отсчета частоты. Поэтому, как правило, основная погрешность установки частоты RC-генераторов задается в виде суммы $\delta f_{\text{вых}} + a$ Гц, где δ — безразмерная относительная погрешность и a — размерная величина нормирующая точность установки частоты в нижней части диапазона, Гц.

Задающий генератор определяет в значительной степени коэффициент нелинейных искажений и неравномерность выходного сигнала в диапазоне частот. Коэффициент нелинейных искажений в нижней части диапазона увеличивается из-за близости значений постоянной времени цепи отрицательной обратной связи и периода колебаний. Цепь обратной связи перестает быть инерционной и начинает реагировать не только на амплитуду, но и на мгновенное значение сигнала. На верхних частотах сказываются паразитные емкости монтажа, входа и выхода усилителя, вызывающие разбаланс в частотодающей цепи. При этом ухудшается как коэффициент нелинейных искажений, так и амплитудно-частотная характеристика генерируемого сигнала.

У генераторов с перестройкой потенциометром в верхней части диапазона начинает сказываться индуктивность его намотки. Поэтому, как правило, в RC-генераторах нормирование коэффициента гармоник $\alpha(f_{\text{вых}})$ разбивается на три частотных области: нижняя (обычно 20—200 Гц), средняя (0,2—20 кГц) и верхняя (20—200 кГц). Самая жесткая норма устанавливается для средней части диапазона.

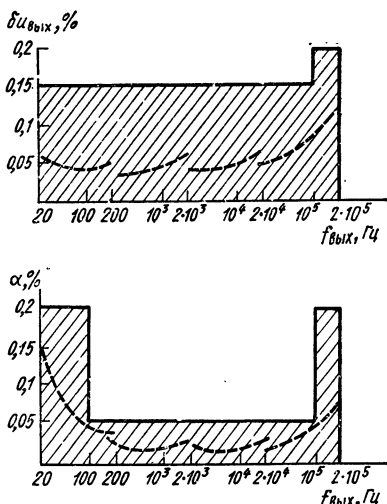
Неравномерность амплитудно-частотной характеристики $\delta u_{\text{вых}}(f_{\text{вых}})$ нормируется обычно в двух областях, с некоторым ухудшением в верхней части диапазона частот генератора. На рис. 2.15 это показано на примере

прибора ГЗ-107. Регулировка амплитуды выходного сигнала RC -генератора производится плавной регулировкой напряжения на входе аттенюатора и последующим ослаблением его в аттенюаторе (обычно ступенчатом). Напряжение на входе аттенюатора обычно контролируется встроенным

превышен допустимый ток нагрузки.

Плавный регулятор выходного напряжения обеспечивает его регулировку почти до нулевого значения. Однако возможности точного отсчета сигнала при этом ограничены малой чувствительностью вольтметра и шумами усилителя. Уровень шумов усилителя при нулевом положении плавного регулятора представляет собой напряжение остаточного сигнала и фона. Очевидно, что в генераторах, у которых плавная регулировка сигнала производится не до нулевого уровня, оговаривать этот параметр не имеет смысла. При введенном аттенюаторе возможности точного отсчета выходного уровня сигнала снижаются. Аттенюатор и шкалы вольтметра прокалиброваны только для работы на номинальную нагрузку, и все ее отклонения от номинала будут давать дополнительные погрешности в отсчете.

Выходной сигнал RC -генератора не постоянен в диапазоне частот. Наличие встроенного вольтметра позволяет компенсировать это непостоянство с помощью плавного регулятора. Причем при нулевом ослаблении можно скомпенсировать даже частотную неравномерность выходного напряжения, вызванную неидеальностью нагрузки. Амплитудно-частотная характеристика RC -генератора со встроенным вольтметром является эксплуатационной, а не метрологической характеристикой, ибо она в этом случае определяет не качество сигнала, не достоверность сведений о нем, а удобство работы с прибором, количество корректировок уровня при перестройке частоты. Соотношение величины погрешности установки опорного уровня $\delta u_{\text{вых}}$ и неравномерности амплитудно-частотной характеристики $\delta u_{\text{вых}}(f_{\text{вых}})$ у RC -генераторов со встроенным вольтметром может быть различным. При $\delta u_{\text{вых}} > \delta u_{\text{вых}}(f_{\text{вых}})$ генератор удобен в эксплуатации, но метрологически недостаточно точен. Соотношение $\delta u_{\text{вых}} < \delta u_{\text{вых}}(f_{\text{вых}})$ говорит об обратном (при равенстве $\delta u_{\text{вых}}(f_{\text{вых}})$ в обоих соотношениях).



*Заштрихована допустимая область значения параметра.
Пунктиром показаны действительные значения на одном из приборов.*

Рис. 2.15

вольтметром. Такое построение выходной части RC -генератора обуславливает некоторые эксплуатационные особенности. При нулевом ослаблении аттенюатора вольтметр оказывается подключенным непосредственно к сопротивлению нагрузки. Это позволяет отсчитывать напряжение на нагрузке даже в случае, если она отличается от номинальной. Точность отсчета при этом практически сохраняется. Надо только следить, чтобы не был

Генератор сигналов низкочастотный ГЗ-56

Прибор (рис. 2.16) обеспечивает получение электрических колебаний с калиброванной частотой, амплитудой и повышенным уровнем выходной мощности в звуковом и ультразвуковом диапазонах частот. Класс точности F_2U_4 .

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В

Потребляемая мощность 250 ВА

Условия эксплуатации: температура от $+10$ до $+35^\circ\text{C}$, относительная влажность воздуха до 80% при $+20^\circ\text{C}$

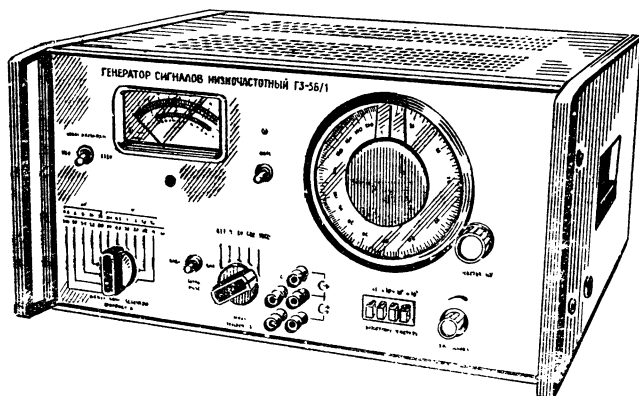


Рис. 2.16

Основные технические характеристики

Габаритные размеры

$255 \times 490 \times 475$ мм


Масса 30 кг

Диапазон частот 20 Гц — 200 кГц

Нестабильность частоты $25 \cdot 10^{-4} f_{\text{вых}}$ за 1 час работы

Диапазон изменения выходного напряжения 49 В — 490 мкВ на нагрузку с сопротивлением 600 Ом

Структурная схема генератора ГЗ-56 соответствует рис. 2.14. Основное назначение генератора — обеспечение сигнала с повышенным уровнем выходной мощности. Для этого в усил-

Диапазон частот, кГц	Погрешность установки частоты, Гц	Погрешность установки опорного уровня, %	Погрешность измерения выходного напряжения, обусловленная частотной неравномерностью, %	Величин, гармоники несущей частоты, %
0,2—20	$0,01 f_{\text{вых}} + 0,5$	—	—	1
0,02—20	$0,02 f_{\text{вых}} + 0,5$	2,5	5	—
20—200		4	8* 26**	0,5* 3**

* Эти данные относятся к основному несимметричному выходу.

** Эти данные относятся к дополнительным выходам

теле генератора имеется мощный выходной каскад. Работа генератора с большой выходной мощностью требует тщательного согласования его входного сопротивления с сопротивлением нагрузки. В генераторе применены два выходных согласующих трансформатора, позволяющих работать на нагрузках 5, 50, 600 и 5000 Ом (рис. 2.17) и переключаемых одновременно

с переключением поддиапазонов. На I, II, III поддиапазонах работает $Tr1$, на IV — $Tr2$. Обмотки трансформаторов коммутируются переключателем сопротивления нагрузки. Выходные клеммы генератора обеспечивают получение как симметричного, так и несимметричного выходного сигнала, а также двух одинаковых по амплитуде и противоположных по фазе выходных напряжений, что особенно удобно при работе с двухтактными каскадами.

Все характеристики по точности установки амплитуды выходного сигнала гарантируются в приборе только при работе с несимметричным выходом на нагрузку 600 Ом.

Задающий генератор прибора ГЗ-56 выполнен по схеме с емкостной настройкой. Цепь отрицательной обратной связи содержит термистор. Разброс параметров термистора при его смене компенсируется последовательно включенным потенциометром. Атенюатор прибора резистивный ступенчатый, с величиной ступени ослабления 10 дБ. Плавная регулировка напряжения производится потенциометром, стоящим на входе буферного усилителя. Отсчет напряжения при плавной регулировке в пределах 20 дБ производится по шкале встроенного вольтметра.

Генератор можно использовать для настройки, испытаний и проверки мощной аппаратуры в звуковом и ультразвуковом диапазонах частот.

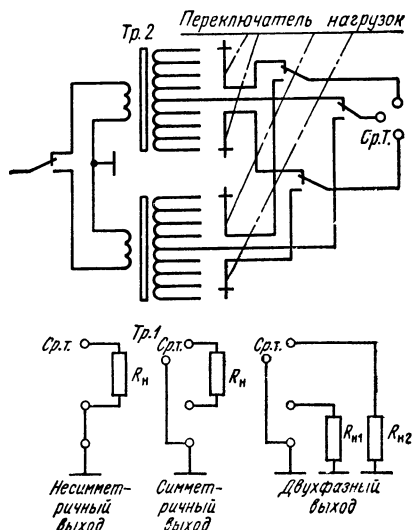


Рис. 2.17

Генератор сигналов низкочастотный ГЗ-102

Прибор (рис. 2.18) обеспечивает получение электрических колебаний с калиброванными частотой и амплитудой и с повышенным качеством формы сигнала в звуковом и ультразвуковом диапазонах частот. Класс точности $F_1 U_4$

Основные технические характеристики

Диапазон частот 20 Гц — 200 кГц
Диапазон изменения выходного напряжения 80 мкВ — 8 В на нагрузке 600 Ом

Относительная погрешность установки опорного уровня 4%

Диапазон частот Гц	Погрешность установки частоты	Погрешность измерения выходного напряжения, обусловленная частотной неравномерностью, %
20—20 · 10 ³	0,01 $f_{\text{вых}}$ +0,2 Гц	5
(20—200) · 10 ³	0,015 $f_{\text{вых}}$	8

Диапазон частот, Гц	Входная мощность, мВт	Величина гармоник основного сигнала, %
$0,2-2 \cdot 10^3$	≤ 500	0,02
$(0,1-20) \cdot 10^3$	≤ 100	0,05
$(20-200) \cdot 10^3$	≥ 100	0,1

Структурная схема прибора приведена на рис. 2.19. Особенностью прибора ГЗ-102 является работа с малым уровнем гармонических искажений сигнала. Для реализации этих характеристик в приборе применены глубокие отрицательные обратные связи в усилителе задающего генератора и в выходном усилителе. Для работы в условиях повышенной влажности за-

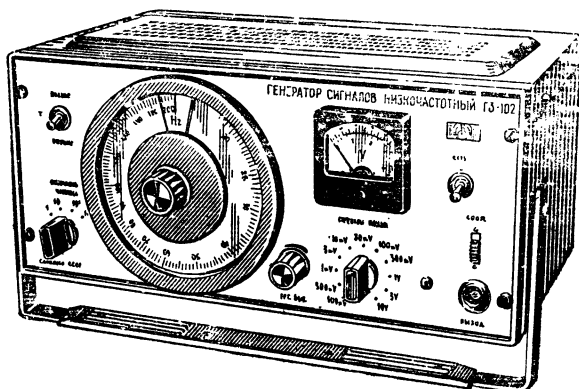


Рис. 2.18

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В

Потребляемая мощность 25 ВА

Условия эксплуатации: температура от $+5$ до $+40^\circ\text{C}$, относительная влажность до 95% при $+30^\circ\text{C}$

Габаритные размеры

$380 \times 215 \times 240$ мм

Масса 8 кг

дающий генератор выполнен по схеме с настройкой потенциометром. Это вызвало некоторое ухудшение характеристик генератора (точности установки частоты, неравномерности ПЧХ) в верхней части диапазона частот. В цепи отрицательной обратной связи задающего генератора в качестве инерционного нелинейного элемента применена лампочка накаливания.

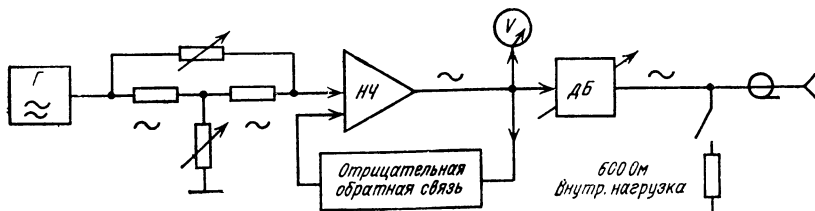


Рис. 2.19

Для увеличения постоянной времени цепи обратной связи при работе на низких частотах в приборе ГЗ-102 имеется устройство, увеличивающее инерционность цепи обратной связи. Т-образный регулятор выходного напряжения с постоянным входным и выходным сопротивлениями на выходе задающего генератора обеспечивает плавную регулировку выходного сигнала. Отсчет выходного напряжения производится по встроенному вольтметру.

Глубокая регулировка выходного сигнала обеспечивается резистивным ступенчатым attenuатором со ступенью 10 дБ. В комплект прибора входит внешний делитель на 40 дБ. Attenuатор и внешний делитель рассчитаны и градуированы для работы

на нагрузку 600 Ом. Для работы на нагрузку более 600 Ом в приборе ГЗ-102 возможно включение внутренней нагрузки. В этом случае погрешность отсчета ослабления выходного напряжения отличается от гарантированной на величину

$$\delta A = \left(1 - \frac{1}{K}\right) \frac{600}{R_n},$$

где K — ослабление attenuатора; R_n — внешняя нагрузка в омах.

Генератор предназначен для настройки, испытаний и проверки аппаратуры звукового и ультразвукового диапазона частот при повышенных требованиях к форме испытательного сигнала.

Генератор сигналов низкочастотный ГЗ-106

Прибор (рис. 2.20) обеспечивает получение электрических колебаний с калиброванными частотой и амплитудой в звуковом и ультразвуковом диапазонах частот. Класс точности F_3U_6 .

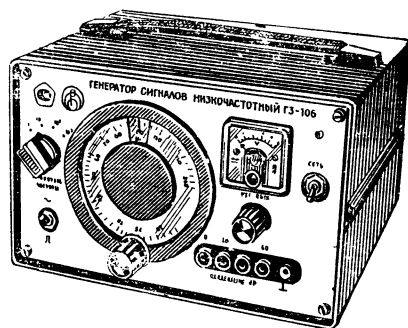


Рис. 2.20

Основные технические характеристики

Диапазон частот 20 Гц — 200 кГц
Погрешность установки частоты $0,03 f_{\text{вых}} \pm 0,3 \text{ Гц}$

Нестабильность частоты 1% за 1 ч работы

Диапазон изменения выходного напряжения 5 мВ — 5 В

Погрешность установки опорного уровня 6%

Диапазон частот, кГц	Величина гармоник несущей частоты, %	
	в нормальных условиях	в интервале рабочих температур
0,02—0,2	0,5	1
0,2—20	0,3	0,6
20—200	2	2

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5 \text{ Гц}$, напряжением $220 \pm 22 \text{ В}$; частотой $400 \pm \frac{2}{12} \text{ Гц}$, напряжением $115 \pm 5,5 \text{ В}$, или от сети постоянного тока напряжением $26 \pm \pm 2,6 \text{ В}$

Потребляемая мощность 30 ВА

Условия эксплуатации: температура от -30 до $+50^\circ \text{C}$, относительная влажность до 98% при $+35^\circ \text{C}$

Габаритные размеры

225×258×162 мм

Масса 5 кг

Схемные и конструктивные особенности прибора обеспечивают его эксплуатацию в жестких климатических условиях, малые габаритные размеры и массу. Перестройка частоты задающего генератора (рис. 2.21) произво-

дах шкалой вольтметра можно пользоваться только при работе с нагрузкой 600 Ом. Прибор ГЗ-106 имеет дополнительный режим работы с сигналом прямоугольной формы. Размах сигнала от пика до пика 10 В. Амплитуда прямоугольного сигнала измеряется тем же вольтметром с погрешностью не более 20% и делится тем же выходным делителем.

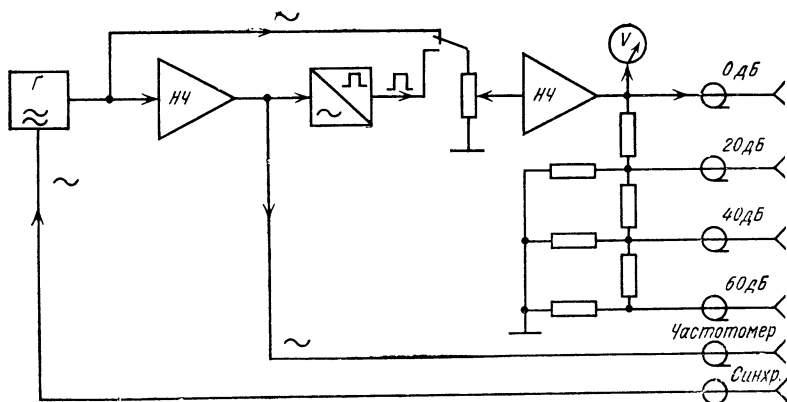


Рис. 2.21

дится проволоочным потенциометром. Цепь отрицательной обратной связи содержит лампочку накаливания. Вместо аттенуатора с механическим управлением в приборе применен резистивный ступенчатый делитель напряжения с отводами от секций, выведенными на соответствующие гнезда на передней панели прибора. Это упрощает конструкцию, увеличивает надежность, снижает габаритные размеры и стоимость прибора.

Плавное изменение напряжения в пределах ступени обеспечивается потенциометром на входе оконечного усилителя. Напряжение измеряется встроенным вольтметром на входе делителя. Оно соответствует напряжению на нагрузке, подключенной к гнезду 0 дБ. На всех остальных гнез-

Прибор ГЗ-106 может работать в режиме внешней синхронизации частоты. Для этого на вход СИНХР, следует подать сигнал с амплитудой не менее 5 В и с частотой, на которой надо синхронизовать генератор. Полоса синхронизации не менее 5%. Индицировать вхождение в полосу синхронизации можно по отсутствию изменений частоты при небольших поворотах ручки настройки синхронизируемого генератора.

Для точного контроля частоты на выходе генератора в нем предусмотрен специальный выход сигнала для подключения частотомера.

Генератор предназначен для настройки и контроля аппаратуры звукового и ультразвукового диапазонов частот.

Генератор сигналов низкочастотный ГЗ-107

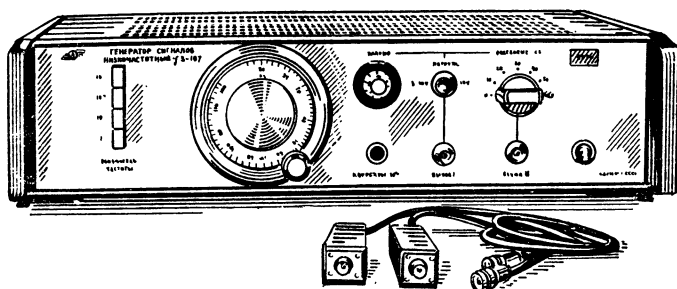


Рис. 2.22

Прибор (рис. 2.22) обеспечивает получение электрических колебаний с калиброванной частотой и повышенной точностью калибровки амплитуды в звуковом и ультразвуковом диапазонах частот. Класс точности F_3U_1 .

Основные технические характеристики

Диапазон частот 20 Гц — 200 кГц
Относительная погрешность установки частоты

$$\left(3 + \frac{30}{f_{\text{вых}}}\right) \%$$

Нестабильность частоты 0,3% за 1 ч работы

Нестабильность опорного уровня 0,05% за 1 ч работы

Диапазон частот, кГц	Величина гармоника несущей частоты, %
0,02—0,1	0,2
0,1—100	0,05
100—200	0,2

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В

Потребляемая мощность 30 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35°С, относительная влажность до 80% при +20°С

Наименование выхода	Пределы выходного напряжения, В	Погрешность установки опорного уровня, %	Погрешность измерения выходного напряжения, обусловленная частотной неравномерностью, %
ВЫХОД I	10—3	0,4 для 10 В 1,5 с включенной плавной регулировкой	0,15 для 20 Гц—100 кГц 0,2 для 100—200 кГц
ВЫХОД II	5—5 · 10 ⁻³	4	1

Габаритные размеры

355×480×120 мм

Масса 12 кг

По техническим характеристикам генератор ГЗ-107 (рис. 2.23) приближается к генераторам-калибраторам. Для реализации высокой точности выходного напряжения и его малой не-

и выходной сигнал прибора изменяется от 10 до 3 В.

Все характеристики точности и постоянства амплитуды выходного сигнала в приборе ГЗ-107 определяются точностью источника опорного напряжения. Для стабилизации его в приборе приняты специальные меры. Имеется возможность коррекции уровня

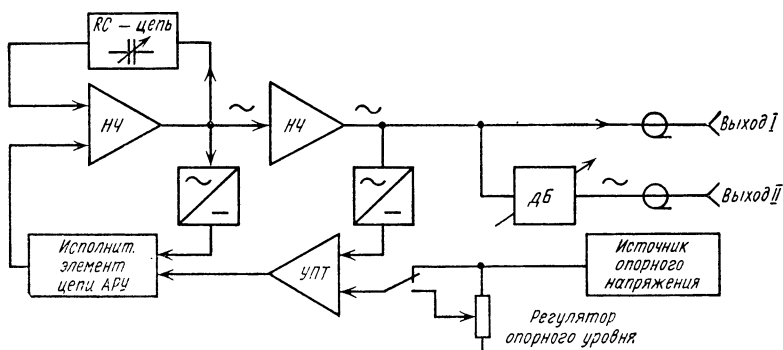


Рис. 2.23

равномерности в диапазоне частот в приборе применена двойная стабилизация амплитуды колебаний. Первое кольцо стабилизации охватывает только усилитель задающего генератора. Исполнительным элементом в этом кольце служит полевой транзистор, включенный в цепь делителя отрицательной обратной связи. Управляющий сигнал для внутреннего кольца получается на диодном детекторе. Второе кольцо стабилизации охватывает и задающий генератор и выходной усилитель одновременно. Исполнительным элементом служит тот же полевой транзистор.

Управляющий сигнал создается диодным преобразователем. Этот сигнал в дифференциальном усилителе сравнивается с сигналом источника опорного напряжения. Система АРУ изменяет усиление в цепях RC-генератора так, что разница между сигналами преобразователя и источника опорного напряжения стремится к нулю. Опорное напряжение можно изменять в некоторых пределах. Система АРУ отслеживает эти изменения,

этого сигнала по внешнему эталону. Наибольшая точность выходного сигнала (0,4%) достигается при отключенном регуляторе опорного сигнала, когда опорное напряжение подается на вход дифференциального усилителя непосредственно со стабилизатора. Уровень сигнала на разьеме Выход I при этом 10 В. Включение регулятора выходного напряжения несколько изменяет уровень опорного сигнала, при этом точность установки выхода ухудшается до 1,5%. На разьеме Выход II сигнал проходит через ступенчатый резистивный аттенуатор со ступенью ослабления 10 дБ. Погрешность сопротивлений, образующих аттенуатор, создает увеличение погрешности напряжения по выходу II до 4%.

Высокая точность обработки системы АРУ и стабильность опорного напряжения обеспечивают малую неравномерность выходного сигнала в диапазоне частот и его высокую стабильность. Внутреннее кольцо АРУ стабилизирует амплитуду колебаний задающего генератора на линейном участ-

ке характеристики его усилителя, обеспечивая получение малых гармонических искажений.

Генератор предназначен для контроля и настройки аппаратуры звуко-

вого и ультразвукового диапазонов частот при высоких требованиях к точности и стабильности амплитуды испытательного сигнала.

Генератор сигналов высокочастотный Г4-117 (по ГОСТ 10622—70)



Рис. 2.24

Прибор (рис. 2.24) обеспечивает получение электрических колебаний с калиброванной частотой и амплитудой. Класс точности F_2U_2 .

Основные технические характеристики

Диапазон частот 20 Гц — 10 МГц

Погрешность установки частоты $0,02 f_{\text{вых}} + 1 \text{ Гц}$

Нестабильность частоты

$4 \cdot 10^{-4} f_{\text{вых}} + 0,5 \text{ Гц}$ за 15 мин

Пределы выходного напряжения, В	Выходной импеданс
3— 10^{-4} 30—3	50 Ом 1 кОм и 20 пФ

Относительная погрешность установки опорного уровня составляет 10% от конечного значения шкалы в

нормальных условиях и 20% — в рабочих условиях

Относительная погрешность измерения выходного напряжения, обусловленная частотной неравномерностью, 10% при уровне сигнала 10 В и нагрузке 50 Ом

Величина гармоник несущей частоты 3%

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5 \text{ Гц}$, напряжением $220 \pm 22 \text{ В}$ или частотой $400 \pm \frac{28}{2} \text{ Гц}$, напряжением $115 \pm 5,5 \text{ В}$

Потребляемая мощность 50 ВА

Условия эксплуатации: температура от -10 до $+50^\circ \text{C}$, относительная влажность до 98% при $+30^\circ \text{C}$

Габаритные размеры

$360 \times 300 \times 160 \text{ мм}$

Масса 12 кг

Генератор Г4-117 отличается большим перекрытием по частоте и повышенным уровнем выходного напряжения. Эти особенности и предопределили схемные и конструктивные решения

прибора (рис. 2.25). RC -цепь генератора перестраивается сдвоенным переменным конденсатором. Только такое решение может обеспечить работу до 10 МГц. На высоких частотах паразитные емкости монтажа оказывают сильное влияние на разбаланс

этого кольца подается напряжение с регулятора опорного уровня. Изменяя этот уровень, можно регулировать в пределах 20 дБ выходное напряжение прибора. Регулирующим элементом во втором кольце АРУ служит оптоэлектронный прибор ОЭП-2.

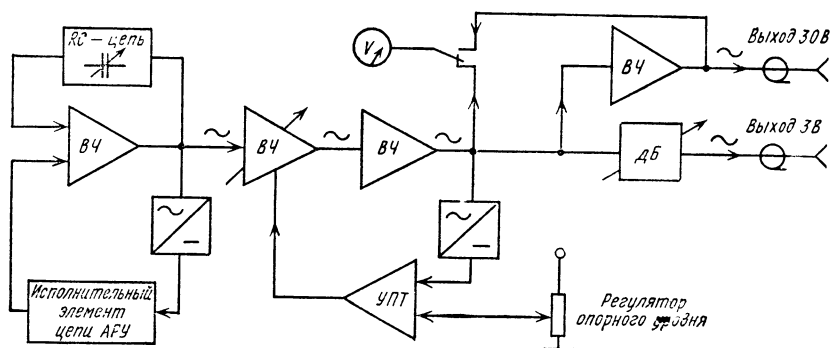


Рис. 2.25

частото задающей цепи, поэтому шкалы высокочастотных поддиапазонов отличаются от шкал нижних поддиапазонов. Самый верхний поддиапазон имеет по этой же причине уменьшенное перекрытие. Наличие в RC -цепи коммутируемых резисторов больших номиналов (10—20 МОм), необходимых для обеспечения работы на низких частотах, приводит к срыву генерации на 1-м и 2-м поддиапазонах в условиях повышенной влажности.

Стабилизация амплитуды колебаний в RC -генераторе обеспечивается цепью автоматической регулировки усиления (АРУ). Регулирующим элементом в этом кольце АРУ является полевой транзистор. Выходные усилители прибора Г4-117 охвачены вторым кольцом АРУ. На дифференциальный уси-

Регулировка выходного напряжения в больших пределах производится ступенчатым резистивным аттенуатором. Для получения высоковольтного сигнала служит дополнительный высоковольтный усилитель, не вносящий заметной неравномерности в амплитудно-частотную характеристику прибора. Выходное напряжение высоковольтного усилителя и напряжение на входе аттенуатора контролируются встроенным вольтметром и отсчитываются по его шкалам. При работе с выходом 3 В 50 Ом шкалы вольтметра переключаются одновременно с переключением аттенуатора. При работе с выходом 30 В 1 кОм надо пользоваться шкалой 30 В.

Генератор Г4-117 предназначен для испытаний и настройки радиоаппаратуры в видеодиапазоне,

Генератор с непрерывным перекрытием диапазона ГЗ-104

Прибор (рис. 2.26) обеспечивает получение электрических колебаний с калиброванной частотой и амплитудой

в звуковом и ультразвуковом диапазонах частот. Класс точности F_1U_4 .

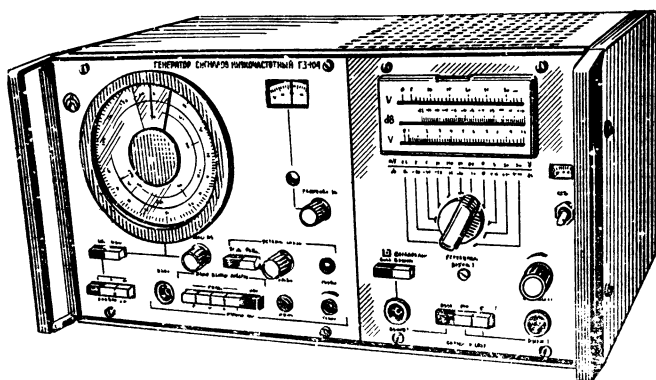


Рис. 2.26

Основные технические характеристики

Диапазон частот 20 Гц — 40 кГц
 Погрешность установки частоты
 $0,01 f_{\text{вых}} \pm 2 \text{ Гц}$

Частота, кГц	Нестабильность частоты за 1 ч работы, Гц
1	5
40	120

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5 \text{ Гц}$, напряжением $220 \pm 22 \text{ В}$

Потребляемая мощность 80 ВА

Диапазон частот, Гц	Величина гармоник, %
20—100	1,5
100—40 · 10 ³	1

Условия эксплуатации: температура от $+10$ до $+35^\circ \text{C}$, относительная влажность до 80% при $+20^\circ \text{C}$

Габаритные размеры
 $490 \times 255 \times 360 \text{ мм}$

Масса 25 кг

Структурная схема прибора приведена на рис. 2.27. Сигналы двух генераторов фиксированной и переменной частоты подаются на вход смесителя. Фильтр на выходе смесителя выделяет сигнал разностной частоты. В приборе имеются выходы, с которых сни-

Пределы выходного напряжения, В	Сопротивление нагрузки, Ом	Выход	Погрешность установки опорного уровня, %	Погрешность измерения выходного напряжения, обусловленная частотной неравномерностью, %
30	600	Основной	4	5
8,6	50	Дополнительный	6	8
2,7	5	"	6	15

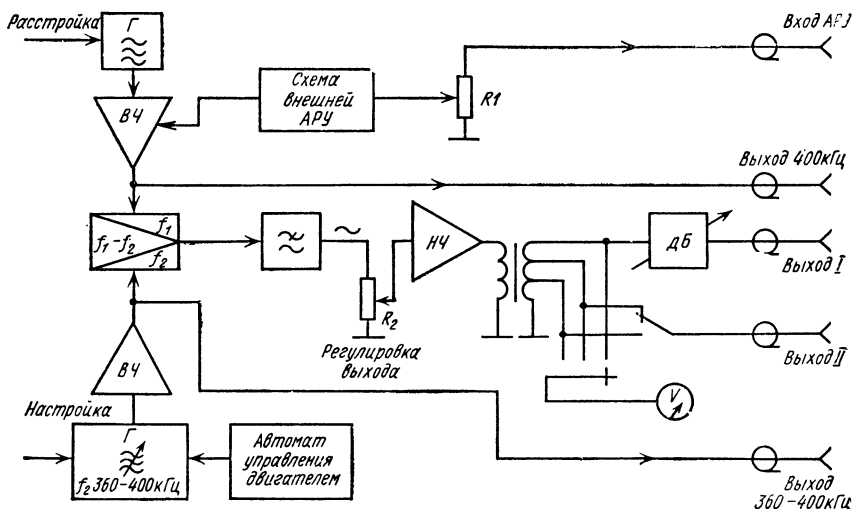


Рис. 2.27

маются сигналы непосредственно каждого из генераторов: фиксированной частоты 400 кГц и переменной частоты 360—400 кГц. Сигнал фиксированной частоты можно перестраивать на ± 100 Гц. Эта расстройка переносится и на выходной сигнал разностной частоты 20 Гц — 40 кГц, который проходит через выходные усилители и выходной трансформатор, обеспечивающий работу на любую из нагрузок: 600 (основной канал), 50 и 5 Ом.

В цепи основного канала имеется аттенуатор на 100 дБ со ступенями ослабления 10 дБ. Плавная регулировка выходного сигнала обеспечивается потенциометром на выходе фильтра нижних частот. Отсчет сигнала производится по встроенному вольтметру.

Прибор имеет режим автоматической перестройки частоты с временем прохождения диапазона 1, 3 или 10 мин. При этом обеспечивается вы-

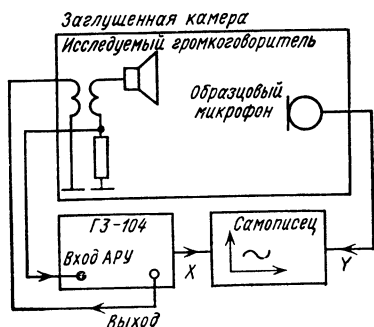


Рис. 2.28

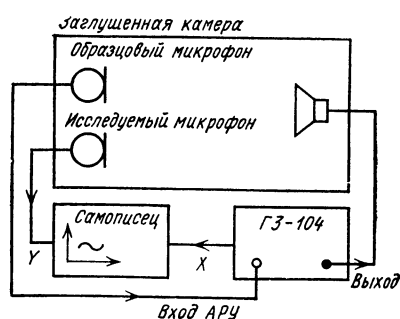


Рис. 2.29

ход напряжения развертки на самописец 0—0,1 В при $f_{\text{вых}}=20$ Гц, 6—9 В при $f_{\text{вых}}=40$ кГц. Аналогично выводится и напряжение, пропорциональное расстройке частоты. Для этого в приборе предусмотрен электродвигатель с коммутируемым редуктором и система автоматики, обеспечивающая остановку в любой точке шкалы, возврат к минимальному значению частоты, однократное или мно-

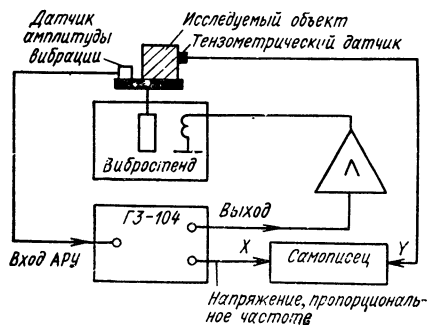


Рис. 2.30

гократное прохождение диапазона с любой из трех скоростей.

Для использования прибора в измерительных схемах с управлением уровнем выходного сигнала от внешней цепи в генераторе ГЗ-104 имеется специальная цепь АРУ, состоящая из демодулятора, усилителя постоянного тока и регулируемого усилителя сигнала фиксированной частоты. На вход цепи АРУ подается сигнал, амплитуда которого подлежит стабилизации. Это может быть не только выходное напряжение генератора, а, например, ток в катушке громкоговорителя (рис. 2.28), звуковое давление в заглушенной камере (рис. 2.29), амплитуда вибраций (рис. 2.30). Быстродействие АРУ может регулироваться вручную или автоматически, при переходах к более высокой частоте оно растет. Ступени быстродействия: 20, 50, 100, 250 дБ/с. Коэффициент стабилизации 0,9 на 20 дБ.

Генератор предназначен для автоматического измерения амплитудно-частотных характеристик акустических и радиотехнических устройств.

2.4. Генераторы радиовещательного диапазона

Группа генераторов радиовещательного диапазона состоит из приборов Г4-18, Г4-42, Г4-68, Г4-73, Г4-74, Г4-93, Г4-102, Г4-106, Г4-117, Г4-118. Для генераторов описываемой группы характерно наличие режима амплитудной модуляции и довольно высокие требования к форме огибающей модулированного сигнала. Другие режимы модуляции (частотная, импульсная) отсутствуют или имеют вспомогательное значение.

Перечень параметров, характеризующих генераторы радиовещательного диапазона, устанавливает ГОСТ 9788—69. Нормы на эти параметры регламентирует ГОСТ 10622—70. В нем же определены принципы классификации генераторов. Они в основном совпадают с изложенными в § 2.3.

Для генераторов радиовещательного диапазона установлены следующие классы:

— по частотным параметрам

$$F_{02}, F_{05}, F_1, F_2;$$

— по параметрам выходного напряжения $U_{0.5}$ дБ, U_1 дБ, U_2 дБ, U_- ;

— по параметрам амплитудной модуляции AM_5, AM_{10}, AM_{20} ,

— по параметрам частотной модуляции FM_5, FM_{10}, FM_{20} ,

где индекс класса означает максимальное допустимое значение основной погрешности по данному параметру.

Нормы на дополнительные погрешности, сопутствующие параметры и параметры дрейфа установлены ГОСТ 10622—70 для каждого класса точности.

Основные сведения о находящихся в эксплуатации генераторах радиовещательного диапазона приведены в табл. 2.3 Наиболее перспективны из

Таблица 2.3

Генераторы сигналов радиовещательного диапазона

Тип	Диапазон частот, МГц	Максимальный выходной сигнал, В	Искажения при АМ, %	Основная особенность	Способ построения	Примечание
Г4-18	0,1—35	0,1	5 ($M=80\%$)	Массовый	LC	Заменен прибором Г4-102
Г4-42	0,01—10	0,1	5—8 ($M=80\%$)	Массовый	LC	Заменен прибором Г4-106
Г4-65 (ГС-100 И)	$20 \cdot 10^{-6}$ —10	10	—	Видеодиапазон	RC, LC	Заменен прибором Г4-117
Г4-68 (ГЗ-41)	0,15—30	100	5 ($M=80\%$)	Мощный	LC	Заменен прибором Г4-118
Г4-73	0,128—73	0,1	—	Специальный режим модуляции ЧТ, ДЧТ	ДКС	
Г4-74	0,1—35	0,3	5 ($M=70\%$)	Жесткие условия эксплуатации	LC	Заменен прибором Г4-102А
Г4-93	0,01—50	1	3 ($M=90\%$)	Повышенная точность	LC	
Г4-102	0,1—50	0,5	5 ($M=30\%$)	Массовый	LC	
Г4-106	0,01—10	0,5	5 ($M=80\%$)	Массовый	LC	
Г4-117	$20 \cdot 10^{-6}$ —10	30	—	Видеодиапазон	LC, гетеродина	
Г4-118	0,1—30	100	5 ($M=80\%$)	Повышенная мощности	RC, LC	

рассматриваемой группы — генератор массового применения Г4-102, генератор ультразвукового диапазона Г4-106, генератор повышенной мощности Г4-118.

Генераторы радиовещательного диапазона в основном применяются для настройки, контроля, испытаний ра-

диовещательной аппаратуры. Они позволяют измерять реальную чувствительность приемника (рис. 2.31), кривую верности воспроизведения (рис. 2.32), глубину работы АРУ (рис. 2.33), ослабление по зеркальному каналу (рис. 2.34) и многие другие характеристики приемных устройств.

Генератор Г4-93 пригоден для испытаний приемников высшего класса.

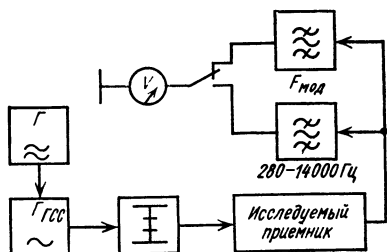


Рис. 2.31

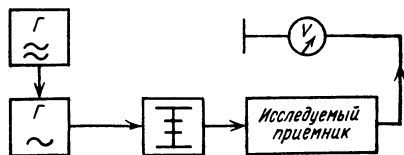


Рис. 2.32

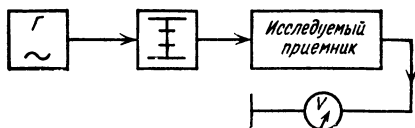


Рис. 2.33

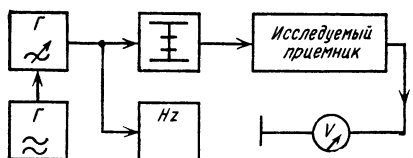


Рис. 2.34

Широко используются генераторы для измерений амплитудно-частотных и амплитудных характеристик четырехполосников радиовещательного диапазона, для настройки фильтров. Они могут найти применение при настройке измерителей модуляции как источники сигнала с калиброванным коэффициентом глубины модуляции. Генераторы используются как источники сигнала при отработках схем деления, умножения и преобразования частоты и при их контроле.

Генератор повышенной мощности Г4-118 может служить источником калиброванного сигнала при проверке вольтметров среднего класса точности, так как имеет выходное напряжение до 100 В с калиброванными амплитудой и формой.

По структурной схеме (рис. 2.35) и принципу построения современные генераторы радиовещательного диапазона весьма схожи между собой. Задающий генератор прибора выполнен на базе LC -контура. Перестройка частоты в пределах поддиапазона производится конденсатором переменной емкости, переход от поддиапазона к поддиапазону — коммутацией катушек индуктивности. Резонансная частота LC -контура, на которой происходит генерация,

$$f_r = 1/2\pi \sqrt{LC}$$

изменяется как \sqrt{C} , поэтому у LC -генераторов перекрытие по частоте существенно меньше, чем у RC -генераторов (как правило, на поддиапазоне не более 2—3). Задающий генератор определяет все частотные параметры прибора, поэтому его проектируют с расчетом на максимальную стабильность частоты и амплитуды сигнала. Цепи амплитудного модулятора, усилителя, аттенюатора в современных генераторах имеют широкую полосу

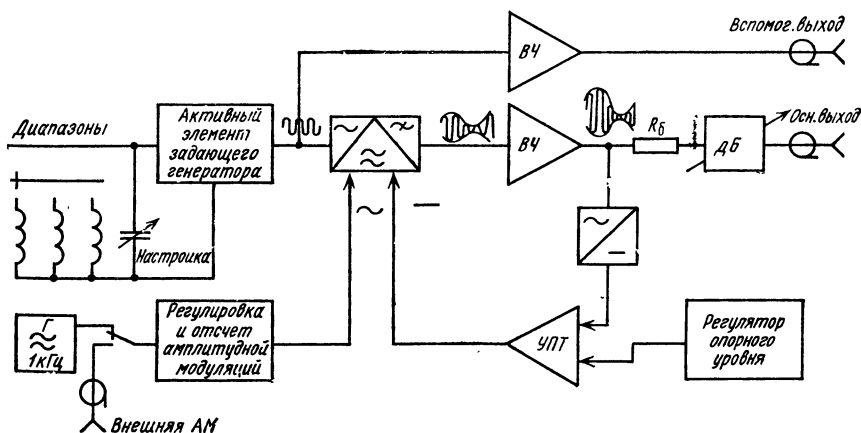


Рис. 2.35

пропускания и не обладают фильтрующими свойствами. Поэтому задающий генератор определяет так же и форму выходного сигнала прибора, коэффициент гармоник несущей частоты $\alpha(f_{\text{вых}})$, для чего принимаются специальные меры.

Амплитудные модуляторы современных радиовещательных генераторов работают, как правило, в квазилинейном режиме (рис. 2.36). Они не

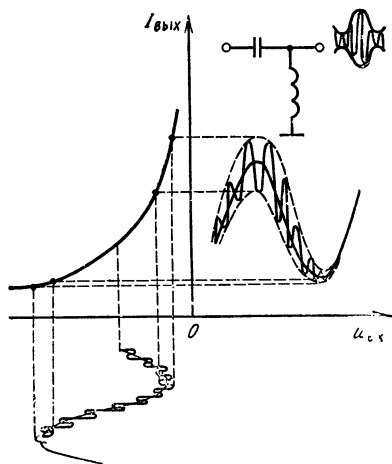


Рис. 2.36

искажают форму высокочастотного колебания, а только изменяют его амплитуду в соответствии с законом изменения модулирующего сигнала. При этом глубина модуляции оказывается зависящей только от величины модулирующего сигнала и не зависит от амплитуды высокочастотного. Это обстоятельство позволяет измерять и изменять глубину модуляции, измеряя и изменяя величину подаваемого модулирующего сигнала. Ошибка при этом способе определения глубины модуляции не более величины искажений, вносимых модулятором. Преимущества отсчета глубины модуляции по величине модулирующего сигнала — в существенном упрощении измерительной схемы и в независимости установленной глубины модуляции от изменений выходного

напряжения при его регулировке и при перестройке частоты. Недостаток квазилинейных модуляторов состоит в том, что они работают только при малых уровнях высокочастотного колебания и требуют значительного усиления сигнала в последующих каскадах. Это сопровождается увеличением амплитудного шума в выходном сигнале прибора.

В современных радиовещательных генераторах используются широкополосные усилители. Это исключило громоздкую и сложную механику сопряжения резонансного усилителя с контуром задающего генератора, однако отрицательно сказалось на шумовых характеристиках сигнала. Меры, принимаемые для устранения этого недостатка, будут указаны при описании конкретных приборов.

Современные генераторы радиовещательного диапазона имеют, как правило, систему автоматического поддержания уровня на входе аттенюатора. Продетектированный выходной сигнал подается на вход дифференциального усилителя системы АРУ. На второй вход подается постоянное опорное напряжение. Система АРУ так обрабатывает величину выходного сигнала, что разность напряжений на входе дифференциального усилителя стремится к нулю. Как правило, система АРУ используется и для плавной регулировки выходного сигнала в небольших пределах. В этом случае изменение величины опорного напряжения на втором входе дифференциального усилителя вызывает соответствующее изменение выходного сигнала.

Система стабилизации уровня обеспечивает нулевой выходной импеданс прибора в точке подключения детектора. Все колебания сопротивления нагрузки не изменяют выходного напряжения прибора, что эквивалентно наличию $R_i=0$. Балластное сопротивление $R_{\text{балл}}=50$ Ом обеспечивает выходное сопротивление прибора в точке подключения аттенюатора равным 50 Ом, благодаря чему достигается хорошее согласование в выходном тракте.

Глубокая регулировка амплитуды выходного напряжения генератора производится аттенюатором. В совре-

менных генераторах радиовещательного диапазона он, как правило, ступенчатый, резистивный. Величина ступени варьируется от прибора к прибору. Отсчет выходного напряжения

производится либо по шкале встроенного вольтметра, либо по шкале калиброванного регулятора опорного уровня.

Генератор сигналов высокочастотный Г4-102

Прибор (рис. 2.37) обеспечивает получение электрического сигнала с регулируемыми калиброванными амплитудой и глубиной модуляции в радиовещательном диапазоне. Класс точности $F_1 U_1$ дБ AM_{10} .

Пределы регулировки величины и пределы отсчета коэффициента глубины модуляции от 0 до 90%

Погрешность установки пределов регулировки и отсчета коэффициента глубины модуляции 10%

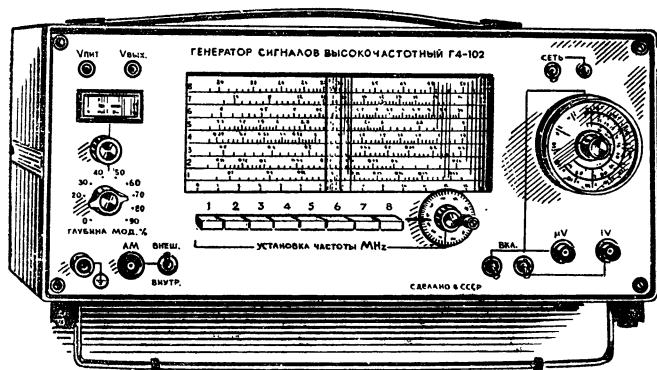


Рис. 2.37

Основные технические характеристики

Диапазон частот 0,1 — 50 МГц

Относительная погрешность установки частоты 1%

Нестабильность частоты

$$2,5 \cdot 10^{-4} f_{\text{вых}} + 50 \text{ Гц за } 15 \text{ мин}$$

Паразитная девиация частоты

$$10^{-6} f_{\text{вых}} + 50 \text{ Гц}$$

в полосе от 20 Гц до 20 кГц

Диапазон изменения выходного напряжения от 0,5 В до 0,1 мкВ

Относительная погрешность установки опорного напряжения 1 дБ

Уровень гармоник в выходном сигнале генератора — 26 дБ (5%)

Коэффициент искажений огибающей модулирующего сигнала 5% при глубине модуляции 80%

Частота модуляции от 50 Гц до 15 кГц при внешней амплитудной модуляции

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В или частотой $400 \pm 1,2^{+2,8}_{-1,2}$ Гц, напряжением $115 \pm 5,5$ В

Потребляемая мощность 15 ВА

Условия эксплуатации: температура от $+10$ до $+35^{\circ}\text{C}$, относительная влажность до 80% при $+20^{\circ}\text{C}$

Имеется модификация прибора Г4-102А для условий эксплуатации: температура от -10 до $+50^{\circ}\text{C}$, относительная влажность до 98% при $+30^{\circ}\text{C}$.

Габаритные размеры

190×360×230 мм

Масса 6,5 кг

Прибор Г4-102 (рис. 2.35) является наиболее простым из генераторов радиовещательного диапазона. Диапазон частот выходного сигнала формируется в задающем генераторе. Плавная перестройка частоты производится конденсатором переменной емкости, переход от поддиапазона к поддиапазону — коммутацией катушек индуктивности. Сигнал с задающего генератора через широкополосный буферный усилитель вспомогательного канала проходит на гнездо 1 В.

В тракте основного канала сигнал с задающего генератора поступает на амплитудный модулятор. Это устройство представляет собой, по существу, широкополосный усилитель, коэффициент передачи которого управляет модулирующим сигналом. Этот же модулятор используется и для плавной регулировки выходного сигнала. Для снижения искажений несущего колебания его величина на входе модулятора должна быть небольшой, поэтому на выходе тракта основного канала также применен широкополосный усилитель.

Тракт основного канала генератора охвачен цепью автоматической регулировки уровня сигнала АРУ. Постоянная времени цепи АРУ выбрана такой, что система не реагирует на амплитудную модуляцию сигнала, т. е. она поддерживает опорный уровень

в заданных пределах и в режиме амплитудной модуляции. Лишь на высоких частотах модуляции погрешность уровня в режиме АМ несколько увеличивается. Для обеспечения режима амплитудной модуляции сигнал создается либо внутренним генератором на 1 кГц, либо вводится извне в гнездо АМ ВНЕШН. (рис. 2.38). Величина его с помощью потенциометра и отсчетного гальванометра поддерживается постоянной на входе аттенюатора НЧ, прокалиброванного непосредственно в процентах глубины модуляции. Такой способ регулирования модулирующего сигнала предпочтительнее, так как при этом детектор работает всегда на большом уровне сигнала, что обеспечивает большую стабильность его показаний. Необходимо отметить высокую чувствительность входа амплитудного модулятора: 1,5—2 В внешнего сигнала вполне достаточно для получения глубины модуляции 90% (у генератора Г4-18 требовалось 80 В).

Основной эксплуатационной особенностью описываемого прибора является малая взаимозависимость регулировок основных параметров выходного сигнала: частоту можно изменять, не вызывая при этом изменений выходного напряжения и модуляции, регулировка уровня сигнала не влияет на глубину модуляции и наоборот. Это делает прибор очень удобным для снятия амплитудно-частотных и амплитудных характеристик усилителей и фильтров, для оценки частотной зависимости чувствительности

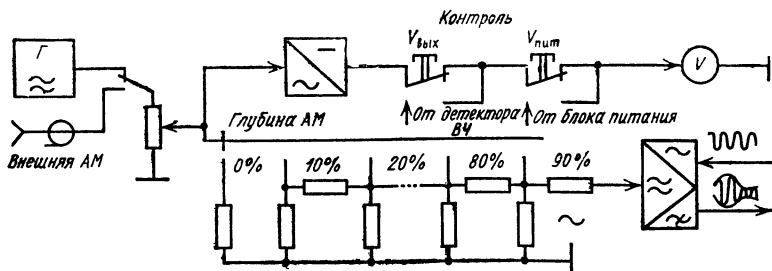


Рис. 2.38

приемников. Наличие немодулированного сигнала на вспомогательном выходе позволяет точно контролировать частоту сигнала даже при работе основного генератора в режиме глубокой амплитудной модуляции. Частотная шкала прибора имеет нониусное устройство, позволяющее повысить разрешающую способность шкалы.

Транзисторное исполнение прибора обуславливает его быструю готовность к работе (через 2—3 мин) после включения, все параметры прибора, за исключением стабильности частоты и выходного напряжения, находятся в пределах норм ТУ. Наличие органов встроенного контроля $V_{\text{пит}}$ и $V_{\text{вых}}$ позволяет установить правильность работы прибора.

Генератор сигналов высокочастотный Г4-106

Прибор (рис. 2.39) обеспечивает получение электрического сигнала с регулируемой калиброванной амплитудой и глубиной модуляции в диапазоне ультразвукового и частично радиовещательного диапазона. Класс точности

$$F_1 U_1 \text{ дБ } AM_{10}.$$

Диапазон изменения выходного напряжения 0,5—0,1 мкВ

Относительная погрешность установки опорного уровня 1 дБ

Уровень гармоник в выходном сигнале генератора 26 дБ (5%)

Пределы регулировки и отсчета коэффициента глубины модуляции от 0 до 90%

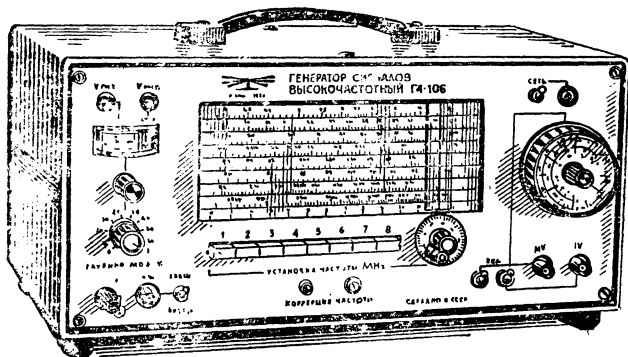


Рис. 2.39

Основные технические характеристики:

- Диапазон частот 0,01—12,5 МГц
- Относительная погрешность установки частоты:
 - 1,5% на частотах меньше 0,1 МГц,
 - 1% на частотах больше 0,1 МГц
- Нестабильность частоты $2,5 \cdot 10^{-4} f_{\text{вых}} + 30 \text{ Гц}$
- Паразитная девиация частоты $10^{-6} f_{\text{вых}} + 30 \text{ Гц}$

Погрешность установки пределов величины модуляции 10%

Коэффициент искажений огибающей модулирующего сигнала 5% при глубине модуляции 80%

Диапазон частоты модуляции от 50 Гц до 10 кГц при внешней амплитудной модуляции

Напряжение, необходимое для получения максимальной модуляции, 2 В

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В или частотой $400 \pm \frac{2}{12}$ Гц, напряжением $115 \pm 5,5$ В

Потребляемая мощность 30 ВА

Условия эксплуатации: температура от -10 до $+50^\circ\text{C}$, относительная влажность до 98% при $+30^\circ\text{C}$

Габаритные размеры

$190 \times 350 \times 230$ мм

Масса 8 кг

Структурная схема прибора Г4-106 (рис. 2.40) в значительной степени повторяет схему прибора Г4-102 и отличается наличием дополнительных устройств для перекрытия участка диапазона частот от 10 до 100 кГц. В приборе Г4-106 его получают методом гетеродинного преобразования частоты. В задающем генераторе предусмотрен специальный поддиапазон 425—515 кГц. В приборе имеется генератор фиксированной частоты 415 кГц. Амплитудно-модулированный сигнал задающего генератора, работающего в диапазоне частот 425—515 кГц, смешивается с сигналом вспомогательного генератора фиксированной частоты 415 кГц; сигнал разностной частоты 10—100 кГц про-

ходит на выходные каскады прибора. Такой способ формирования амплитудно-модулированного сигнала в диапазоне частот 10—1000 кГц позволяет разделить частоты модулирующего и несущего колебания, поскольку модуляция производится при несущих частотах не менее 100 кГц, а верхняя частота модуляции 10 кГц.

Метод гетеродинного переноса частоты сопровождается обычно ухудшением точности отсчета частоты в нижней части полученного диапазона. Для компенсации этого недостатка в приборе предусмотрен специальный калибратор частоты. Сигнал усилителя вспомогательного канала подает на контур волномера, настроенный на 10 кГц. Установив по шкале генератора частоту 10 кГц, шлицом КОРРЕКЦИЯ ЧАСТОТЫ можно подстроить частоту генератора фиксированной частоты так, что выходная частота прибора станет равной $10 \text{ кГц} \pm 0,5\%$. Индикация настройки — по максимальному отклонению стрелки гальванометра.

Выходные каналы прибора Г4-106 и его низкочастотная часть по принципу построения соответствуют аналогичным узлам прибора Г4-102. Однако

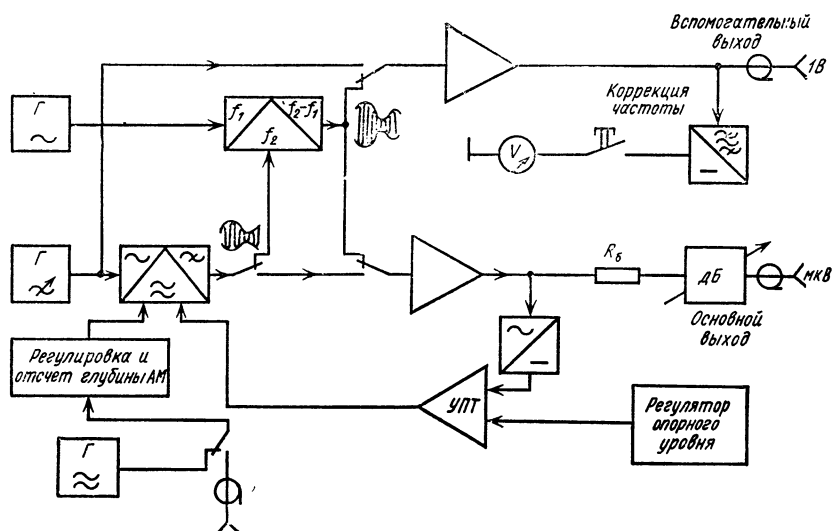


Рис. 2.40

имеется несколько особенностей, на которые при эксплуатации прибора следует обратить внимание. Так, в диапазоне 10—100 кГц с вспомогательного выхода в режиме АМ снимается модулированный сигнал, амплитуда которого меньше 1 В и зависит от величины сигнала на основном выходе $\mu\text{В}$. Это связано с тем, что преобразование частоты в приборе происходит на сигнале после амплитудного модулятора, т. е. уже промодулированным.

Второе отличие состоит в том, что постоянная времени детектора системы АРУ при переходе с поддиапазона 10—100 кГц на поддиапазоны 100 кГц — 12,5 МГц коммутируется и уровни сигнала с частотой 100 кГц на разных диапазонах могут отличаться один от другого при установке одного и того же значения по шкале плавной регулировки. Это различие не выходит за пределы погрешности отсчета уровня. При выключении сигнала на основном канале напряжение питания снимается не только с усилителя, но

и с модулятора. При этом пропадет сигнал и на вспомогательном выходе, если его частота лежит в пределах 10—100 кГц, т. е. получена гетеродинамированием.

При работе в этом участке диапазона можно увеличить соотношение модулирующей и несущей частот до $\Omega_{\text{мод}} = (0,5—0,7) f_{\text{вых}}$ с некоторым ухудшением параметров промодулированного сигнала. Эту возможность следует учитывать при эксплуатации и при необходимости использовать.

Наличие вспомогательного поддиапазона 415—515 кГц с повышенной точностью отсчета (0,5%) и плавностью настройки частоты делает генератор Г4-106 весьма удобным для исследований фильтров и усилителей промежуточных частот радиовещательных приемников.

Генератор Г4-106 используется для проверки, контроля и настройки аппаратуры в диапазоне ультразвукового и частично радиовещательного диапазонов.

Генератор сигналов высокочастотный Г4-93

Прибор (рис. 2.41) обеспечивает получение электрического сигнала с повышенными характеристиками по ча-

стоте, выходу и модуляции в радиовещательном диапазоне. Класс точности $F_{0,5} U_{0,5} \text{ дБ } AM_5$

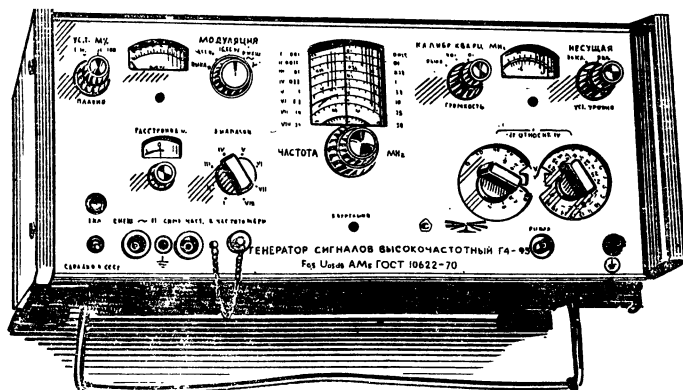


Рис. 2.41

Основные технические характеристики

Диапазон частот 0,01—50 МГц

Относительная погрешность установки частоты 0,5 и 0,01% в точках калибровки

Нестабильность частоты $4 \times 10^{-5} f_{\text{вых}} + 10$ Гц за 15 мин

Паразитная девиация частоты $10^{-6} f_{\text{вых}} + 5$ Гц в полосе частот от 10 Гц до 20 кГц.

Диапазон изменения выходного напряжения 1 В — 0,1 мкВ

Относительная погрешность установки опорного уровня 0,5 дБ

Уровень гармоник в выходном сигнале генератора —34 дБ (2%)

Пределы регулировки и отсчета коэффициента глубины модуляции от 0 до 100%

Погрешность регулировки и отсчета коэффициента глубины модуляции 5%

Коэффициент искажений модулирующего сигнала, %	Глубина модуляции, %
3	90
2	91
1	90*

* Такие величины гарантируются при значениях выходных частот 0,5 и 1 МГц и значениях частоты модуляции 0,4 и 1 кГц

Напряжение, необходимое для получения максимальной модуляции, 1 В
Диапазон частот модуляции 30 Гц — 15 кГц при внешней амплитудной модуляции

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В или от сети постоянного тока напряжением $27 \pm \frac{3}{2}$ В

Потребляемая мощность 15 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35°С, относительная влажность до 80% при +20°С

Габаритные размеры

480×200×355 мм

Масса 18 кг

Структурная схема прибора Г4-93 приведена на рис. 2.42. Это наиболее сложный из рассматриваемого класса приборов. Диапазон частот выходного сигнала формируется в задающем генераторе. Плавное изменение частоты производится конденсатором переменной емкости, переход от поддиапазона к поддиапазону — коммутацией катушек индуктивности. Для согласования сопротивления контура с входом активного элемента применен согласующий истоковый повторитель.

Сигнал с задающего генератора через усилитель индикации попадает на выход к частотомеру и может быть использован для точного отсчета частоты внешним частотомером, либо для работы в кольце внешнего фазового синхронизатора. Управляющий сигнал синхронизации должен вводиться на гнездо СИНХР. Это же гнездо можно использовать для внешнего управления частотой в пределах 0,1%. Сигнал с усилителя индикации подается на кварцевый калибратор, где его частота сравнивается с одной из гармоник сигнала кварцевого генератора: 0,01; 0,1 или 1 МГц. Совпадение частот индицирует звуковой индикатор биемный, громкость которого можно регулировать. Применение кварцевого калибратора позволяет довести точность отсчета частоты до 0,01% в точках калибровки.

Тракт основного канала прибора Г4-93 состоит из амплитудного модулятора, усилителя и аттенюатора. Модулятор и усилитель охвачены кольцом автоматической регулировки уровня. Протектированный выходной сигнал подается на один из входов дифференциального усилителя постоянного тока системы АРУ. На второй его вход подается сигнал с регулятора опорного уровня, который является суммой сигнала постоянного тока, пропорционального опорному уровню, и модулирующего сигнала. Переключатель диапазонов коммутирует постоянную времени АРУ так, что она отслеживает форму модулирующего сигнала, устраняя внесенные амплитудным модулятором нелинейные искажения огибающей. Этим достигается высокое качество амплитудной модуляции.

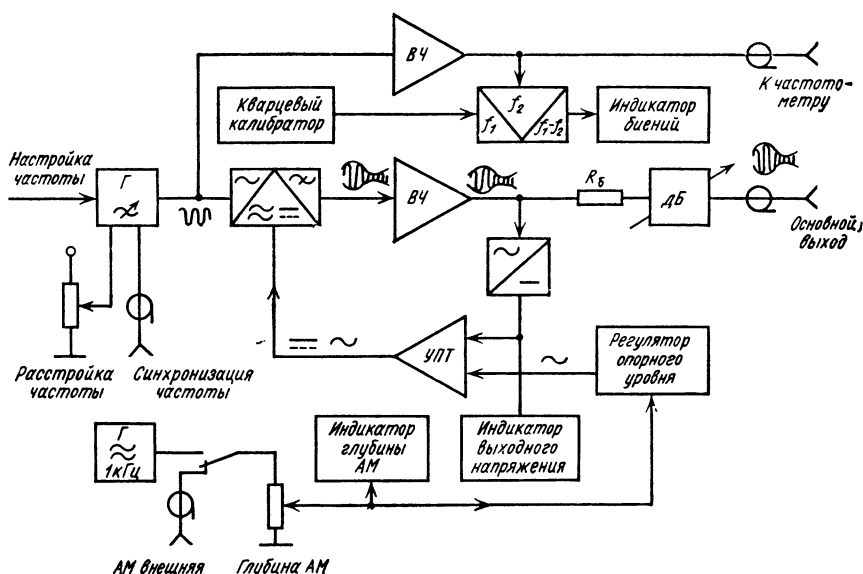


Рис. 2.42

Отсчет глубины модуляции производится измерением величины модулирующего сигнала. Измеритель модуляции имеет две шкалы: 1—10 и 10—100%, что повышает точность отсчета. Необходимый уровень сигнала на входе аттенюатора обеспечивает широкополосный усилитель основного канала. Аттенюатор прибора ступенчатый, резистивный. Величина ступе-

ни 20 и 1 дБ. В пределах 1 дБ регулировать выходное напряжение можно плавной ручкой установки уровня и отсчитывать этот уровень по индикаторному гальванометру.

Генератор Г4-93 используется для проверки, настройки и контроля радиовещательной аппаратуры высшего класса.

Генератор сигналов высокочастотный Г4-118

Прибор (рис. 2.43) обеспечивает получение электрического сигнала с калиброванными частотой, амплитудой и режимом амплитудной модуляции при повышенном уровне выходной мощности и выходного напряжения. Класс точности $F_1 U_{AM} I_0$

Основные технические характеристики

Диапазон частот 0,1—30 МГц
Относительная погрешность установки частоты 1%

Нестабильность частоты, Гц, за 15 мин	Время самопрогрева, ч
$2,5 \cdot 10^{-4} f_{\text{вых}} + 50$	0,5
$10^{-4} f_{\text{вых}} + 30$	1

Паразитная девиация частоты $10^{-5} f_{\text{вых}} + 50$ Гц

Диапазон частот, МГц	Пределы выходного напряжения, В	Величина нагрузки	Выход
0,1—30	2—12	50 Ом	V—12 В
	3—14	75 Ом	50 Ω
0,1—20	10—100	10 кОм	10 В—100 В
		15 пФ	10 КΩ

Относительная погрешность установки опорного уровня 10% от номинала шкалы индикатора

Относительная погрешность измерения выходного напряжения, обусловленная частотной неравномерностью, 10%

печиваются только на выходе 2V—12V, 50Ω

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В или частотой $400 \pm \frac{2,8}{1,2}$ Гц, напряжением $115 \pm 5,5$

Потребляемая мощность 70 ВА

Условия эксплуатации: температура от -10 до $+50^\circ\text{C}$, относительная влажность до 95% при $+30^\circ\text{C}$

Габаритные размеры

$360 \times 320 \times 184$ мм

Масса 15 кг

Задающий генератор прибора (рис. 2.44) построен по схеме емкостной трехточки на базе широкополос-

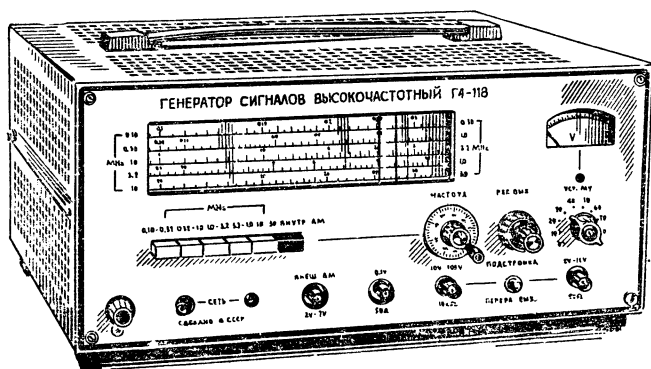


Рис. 2.43

Уровень гармоник в выходном сигнале генератора 5% (-26 дБ) при работе с линейной нагрузкой на любом выходе

Пределы регулировки и пределы отсчета коэффициента глубины модуляции от 0 до 90%

Погрешность установки пределов регулировки модуляции 10% при глубине модуляции от 10 до 80%

Частота модуляции
внутренняя (1000 ± 50) Гц,
внешняя ($50—10\,000$) Гц

Коэффициент искажений огибающей модулирующего сигнала 5% при глубине модуляции 80%

Все параметры режима АМ обес-

ного усилителя, охваченного кольцом автоматического регулирования усилителя (АРУ). Система АРУ обеспечивает ограничение сигнала задающего генератора, поддерживает его постоянным в диапазоне частот и чистым по спектральному составу (так как усилитель задающего генератора работает в линейном режиме). Перестройка частоты генератора производится конденсатором переменной емкости, смена поддиапазонов — коммутацией катушек индуктивности, входящих в LC-контур.

Для компенсации температурных зависимостей в LC-контур генератора введены варикапы, на которые пода-

ются управляющие напряжения с термозависимых сопротивлений. Такой способ обеспечивает большие пределы компенсации, чем применение конденсаторов с калиброванными температурными коэффициентами емкости.

После задающего генератора сигнал поступает на амплитудный модулятор, который представляет собой широкополосный усилитель, коэффициент усиления которого регулируется из-

предъявляет дополнительные требования к внешнему генератору модулирующего сигнала: его напряжение должно находиться в пределах 2—7 В.

Регулируемый усилитель высокой частоты после модулятора является исполнительным элементом второго кольца АРУ, стабилизирующего уровень выходного сигнала и обеспечивающего его регулировку в пределах 20 дБ. Регулировка усиления произ-

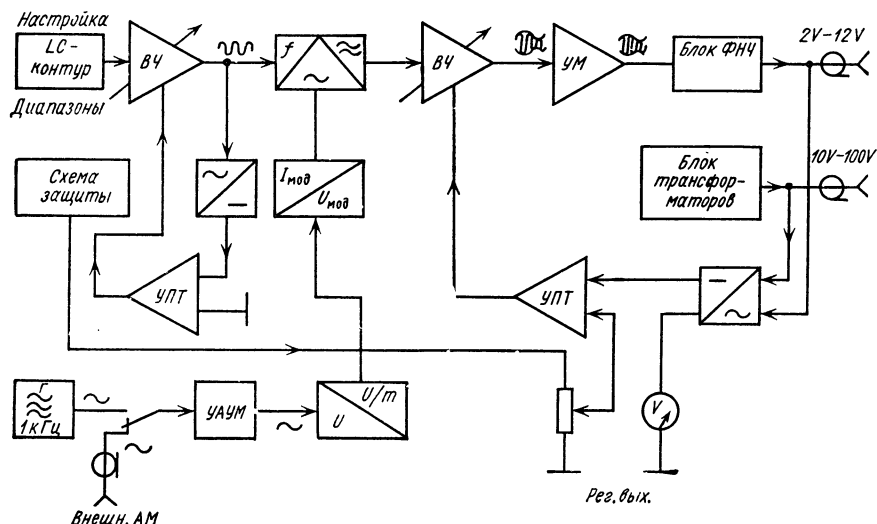


Рис. 2.44

менением величины коллекторного тока. Источником тока служит преобразователь модулирующего напряжения в модулирующий ток. В модулятор введены предискажающие каскады на транзисторах в диодном включении, обеспечивающие компенсацию искажений несущего сигнала. Модулирующий сигнал снимается либо с внутреннего генератора 1 кГц, либо с гнезда АМ ВНЕШН, и через устройство автоматической установки модуляции (УАУМ) вводится в отсчетный делитель модуляции. Наличие устройства АУМ освобождает оператора от необходимости контролировать и поддерживать постоянным опорный уровень модулирующего сигнала, но

водится оптоэлектронным преобразователем, резистивная ветвь которого включена в цепь обратной связи усилителя. Цепь лампочки накаливания включена на выходе усилителя постоянного тока второго кольца АРУ.

Усилитель мощности обеспечивает усиление выходного сигнала до требуемой величины (2,5 Вт). Фильтрация гармоник основного сигнала производится блоком фильтров НЧ, коммутируемых одновременно с переключением поддиапазонов.

Выходной сигнал с разьема 10V—100V снимается с блока повышающих трансформаторов, также коммутируемых с переключением поддиапазонов и внутри поддиапазонов микропере-

ключателями, сопряженными с конденсатором переменной емкости. На высокочастотном поддиапазоне в качестве трансформатора используется перестраиваемый резонансный контур.

В приборе применена схема защиты, срабатывающая при коммутациях поддиапазонов. В момент коммутации сигнал на выходе генератора пропадает и в цепи второго кольца АРУ возникает разбаланс, который приводит к резкому увеличению усиления в цепях прибора и может вызвать выход из строя транзисторов. Схема защиты

отключает опорное напряжение от схемы АРУ при коммутациях поддиапазонов и разбаланс в ней не наступает.

Отсчет выходного напряжения по любому из выходов генератора производится встроенным индикатором. Он коммутируется одновременно с коммутацией выходов.

Генератор Г4-118 предназначен для контроля аппаратуры радиовещательного диапазона и калибровки вольтметров (с помощью специальных фильтров).

2.5. Генераторы метрового и дециметрового диапазонов

Генераторы метрового и дециметрового диапазонов перекрывают диапазон частот до 1—2 ГГц. В этом диапазоне частот работает большое количество разнообразной аппаратуры, предназначенной для решения задач ЧМ вещания, телевидения, навигации, телеметрии, подвижной и низовой связи и т. д. Это предопределяет большое разнообразие требований к измерительным генераторам, особенно в режимах модуляции. Поэтому в рассматриваемом диапазоне встречаются приборы, работающие практически со всеми видами модуляции и их комбинациями.

Диапазоны частот рассматриваемых генераторов находятся на стыке диапазонов частот, которым соответствуют ГОСТ 10622—70 (30 кГц—300 МГц) и ГОСТ 14126—69 (свыше 300 МГц). Принято классифицировать генераторы по тому ГОСТу, в пределах которого находится большая часть диапазона частот конкретного прибора. Принципы классификации аналогичны описанным в § 2.3, 2.4. ГОСТ 14126—69 устанавливает следующие классы точности:

- по частотным параметрам $F_{0.01}$, $F_{0.05}$, $F_{0.5}$, F_1 ;
- по параметрам выходной мощности $P_{0.5 \text{ дБ}}$, $P_1 \text{ дБ}$, $P_{1.5 \text{ дБ}}$;
- по параметрам амплитудной модуляции AM_5 , AM_{10} , AM_{20} ;

— по параметрам частотной модуляции FM_{10} , FM_{15} , FM_{25} ;

— по параметрам импульсной модуляции PM_5 , PM_{10} , PM_{25} .

Те же классы по импульсной модуляции установлены ГОСТ 10622—70. За индекс класса точности по параметрам импульсной модуляции принята погрешность установки длительности импульса. Значения индексов остальных классов точности раскрыты в § 2.3, 2.4.

Необходимо заметить, что регламентация дополнительных и сопутствующих параметров по ГОСТ 14126—69 более жесткая, чем по ГОСТ 10622-70.

Основные сведения о генераторах метрового и дециметрового диапазонов приведены в табл. 2.4.

Разнообразие требований к генераторам предопределяет разнообразие технических решений при их построении. Часть генераторов (Г4-44, Г4-37А) построена по принципу коммутации поддиапазонов частот задающего генератора, описанному в § 2.4. Генераторы Г4-120 и Г4-76 однодиапазонные, по способу построения приближаются к генераторам СВЧ.

Более современные генераторы (Г4-107, Г4-116, Г4-129) построены по принципу деления частот (рис. 2.45, а). Сигнал с задающего генератора, работающего на частоте верхнего поддиапазона, проходит че-

Таблица 2.4

Генераторы сигналов метрового диапазона

Тип	Диапазон частот, МГц	Выходной сигнал	Режим работы	Основные особенности	Примечание
Г4-44	10—400	0,1 В	НГ, АМ, ИМ	Качественная ИМ	Заменен прибором Г4-107
Г4-70	4—300	0,05 В	НГ, АМ, ЧМ, ТМ	Режим ЧМ и ТМ	Заменен прибором Г4-116
Г4-107	12,5—400	1 В	НГ, АМ, ИМ	Универсальный	—
Г4-116	4—300		НГ, АМ, ЧМ, ТМ	Режим ТМ	—
Г4-37	400—1200	10 ⁻⁴ —1 Вт (мощный выход) 10 ⁻¹⁵ — —10 ⁻³ Вт (основной выход)	НГ, АМ, ИМ	Мощный выход	Заменен приборами Г4-76, Г4-129

рез цепочку делителей частоты на 2, и частота его понижается в 2^n раз. Такой способ формирования диапазо-

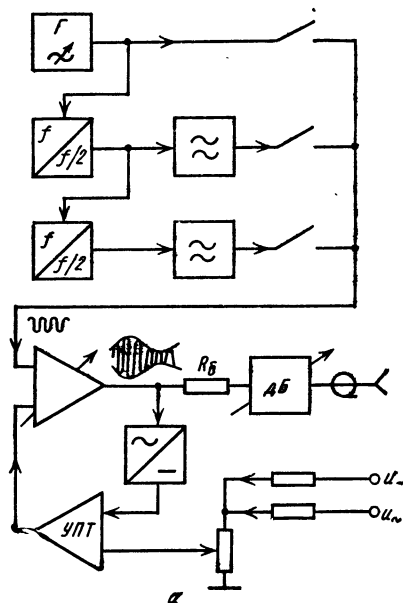
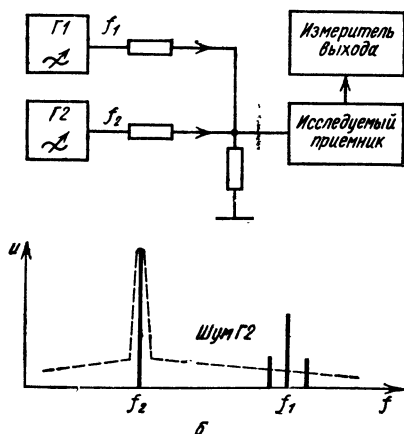


Рис. 2.45

на обладает тем преимуществом, что из контура задающего генератора исключены коммутрующие элементы. Это положительно сказывается на стабильности частоты генератора, исключает дополнительное время самопрогрева при переключениях поддиапазонов, позволяет осуществлять одновременную подгонку всех шкал ча-



стотных поддиапазонов, так как все они являются производными от частоты верхнего поддиапазона. Упрощается сам задающий генератор, так как он работает в сравнительно узком (перекрытие 2) диапазоне частот. Относительная расстройка частоты и относительная паразитная ЧМ одинаковы для всех поддиапазонов.

Вместе с тем способ формирования диапазона частот делением не свободен от недостатков. Выходной сигнал смесителей не синусоидален и требует последующей фильтрации. Девияция частоты в режиме частотной модуляции снижается одновременно с делением несущей частоты, и для сохранения ее постоянной во всем диапазоне частот требуются специальные меры.

В диапазоне метровых и дециметровых волн соотношение несущей частоты и частоты амплитудной модуляции обычно велико. Это обуславливает возможность использовать систему стабилизации уровня сигнала для введения режима амплитудной модуляции. Для этого модулирующий сигнал вводится вместе с опорным на вход дифференциального усилителя постоянного тока. На второй его вход подается напряжение с детектора, выделяющего огибающую модулированного сигнала. При правильном выборе постоянной времени система АРУ обеспечивает одинаковость формы огибающей и модулирующего сигнала, тем самым сводя к минимуму искажения огибающей при модуляции. Одновременно постоянная составляющая протектированного напряжения сравнивается с опорным сигналом, подаваемым на вход системы АРУ, и в ней вырабатывается сигнал ошибки, стабилизирующий опорный уровень выходного сигнала. Система срабатывает по уровню входного

опорного и модулирующего сигналов, и тем самым достигается возможность изменять и измерять опорный уровень выходного сигнала и глубину его модуляции, изменяя и измеряя входные низкочастотные сигналы системы АРУ. Ограничение полосы пропускания системы АРУ вызывает некоторый завал глубины модуляции на высоких модулирующих частотах.

Измерительные генераторы метрового и дециметрового диапазонов часто используются для контроля приемных устройств связи. Это накладывает на генератор весьма жесткие требования по шумам в выходном сигнале генератора. На рис. 2.45, б показана схема, с помощью которой можно оценить помехозащищенность приемного устройства. Сигнал от генератора 1 с определенным режимом модуляции и с амплитудой, соответствующей чувствительности приемника, подан на вход приемника, настроенного на этот сигнал. Сигнал от генератора 2, имеющий значительно большую амплитуду, имитирует мешающую станцию. Его частота постепенно подстраивается к частоте настройки приемника. При излишне большом уровне шума генератора 2 искажения принимаемого сигнала от генератора 1 наступят при большей расстройке частоты f_2 от f_1 и степень помехозащищенности приемника будет оценена неправильно.

Использование делителей для формирования диапазона частот положительно сказывается на шумовых свойствах генератора, так как выходной сигнал делителей, работающих в ключевом режиме, имеет низкий уровень шума. Типовая величина уровня шума генератора, построенного по методу деления частоты, 140—150 дБ/Гц при отстройке от несущей частоты на 200 кГц.

Генератор сигналов высокочастотный Г4-70

Прибор (рис. 2.46) обеспечивает получение высокочастотного электрического сигнала с калиброванными частотой, амплитудой и с режимами

калиброванной амплитудной, частотной и видеомодуляции. Класс точности $F_1 U_1 A M_{10} FM_{10}$.

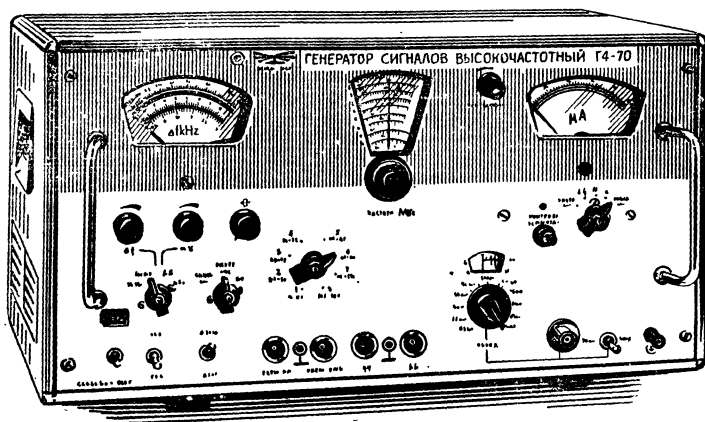


Рис. 2.46

Основные технические характеристики

Диапазон частот 4—300 МГц
Относительная погрешность установки частоты 1%
Нестабильность частоты $1,5 \times 10^{-4} f_{\text{вых}}$ за 15 мин после прогрева в течение 1,5 ч

Диапазон частот, МГц	Паразитная deviation частоты, Гц, в режиме НГ
4—225	75
225—300	$10^{-6} f_{\text{вых}}$

Диапазон изменения выходного напряжения 50 мВ—1,5 мкВ
Относительная погрешность установки опорного уровня:

10% в диапазоне частот до 250 МГц,
25% свыше 250 МГц

Уровень гармоник в выходном сигнале генератора 20% по третьей гармонике

Пределы регулировки и отсчета коэффициента глубины модуляции 8—95%

Диапазон частот, МГц	Глубина модуляции, %
Ниже 8	от 10 до 90
Выше 8	от 10 до 95

Примечание: для этих данных погрешность отсчета составляет (0,05 от значения глубины модуляции + 5)%.

Коэффициент искажений огибающей модулирующего сигнала:

12% при глубине модуляции 70% на частотах выше 8 МГц,
50% на частотах ниже 8 МГц

Пределы девиации частоты в режиме частотной модуляции 0,5—100 кГц

Погрешность девиации частоты в режиме частотной модуляции 10%

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В

Потребляемая мощность 115 ВА

Условия эксплуатации: температура от +5 до +40°C, относительная влажность до 95% при +30°C

Габаритные размеры

540×300×350 мм

Масса 30 кг

Структурная схема прибора приведена на рис. 2.47. Диапазон частот выходного сигнала формируется в задающем генераторе. Он работает на восьми поддиапазонах, переключаемых контурными катушками индуктивности. Плавная перестройка частоты производится конденсатором переменной емкости. В контур включены два варикапа, обеспечивающие частотную модуляцию сигнала. Модулирующий сигнал на них подается с каскада компенсации искажений, в котором производится предварительное искажение модулирующего сигнала по закону, обратному вольт-частотной характеристике варикапов. В результате частота генерируемого сигнала оказывается линейно зависящей от модулирующего напряжения. Резистивный делитель в схеме компенсирующего каскада обеспечивает постоянство девиации при коммутациях поддиапазонов.

Задающий генератор охвачен кольцом системы стабилизации амплитуды. Она поддерживает постоянным выходной сигнал задающего генератора и стабилизирует форму колебаний. Выходной сигнал детектора системы АРУ используется для индикации

опорного уровня выходного сигнала прибора. Регулировка этого уровня производится изменением смещения в каскадах системы АРУ. Плавная регулировка амплитуды сигнала производится емкостным attenuатором, сопряженным с ручкой ВЫХОД. После плавного attenuатора сигнал подается на вход усилителя высокой частоты, который используется в качестве амплитудного модулятора. На его выходе уровень не контролируется, и чтобы избежать ошибок в отсчете амплитуды выходного сигнала, к амплитудно-частотной характеристике этого усилителя предъявляются очень жесткие требования. Для их реализации усилитель охвачен сильной отрицательной обратной связью. Регулировка амплитуды сигнала в больших пределах производится ступенчатым резистивным attenuатором со ступенью 10 дБ.

Сигнал для амплитудной модуляции (а также для видео- и импульсной модуляции) подается в катод лампы выходного усилителя. Он снимается либо с внутреннего генератора 1 кГц, либо с гнезда ВНЕШН. АМ. Модулирующий видеосигнал проходит через дополнительный видеоусилитель, что

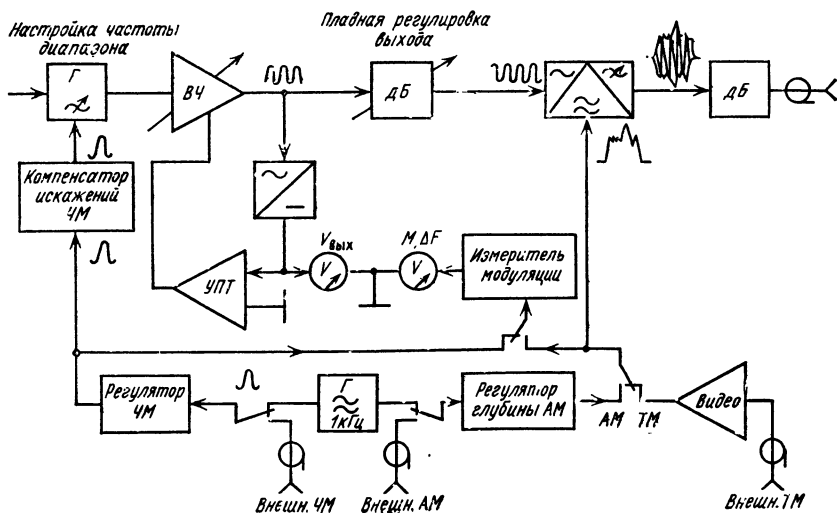


Рис. 2.47

позволяет использовать для модуляции сигналы как положительной, так и отрицательной полярности. Глубина модуляции и девиация частоты при ЧМ определяются по величине модулирующего сигнала. Для ее измерения в приборе предусмотрен специальный измерительный каскад с отсчетным гальванометром, шкала которого позволяет отсчитать величину девиации частоты или глубину АМ.

Ранее говорилось о специальных мерах по выравниванию постоянства девиации в диапазоне частот и амплитудно-частотной характеристики выходного усилителя. Для получения необходимой точности прибора этих мер недостаточно. Поэтому каждый прибор снабжается индивидуальными графиками поправок, учитывающими отклонения АЧХ выходного каскада и характеристик варикапов от стандартных. Методика использования графиков изложена в техническом описании прибора.

Генератор Г4-70 предназначен для контроля и настройки телевизионной аппаратуры и приемных устройств, использующих частотную модуляцию.

Генератор Г4-70 предназначен для контроля и настройки телевизионной аппаратуры и приемных устройств, использующих частотную модуляцию.

Генератор сигналов высокочастотный Г4-107

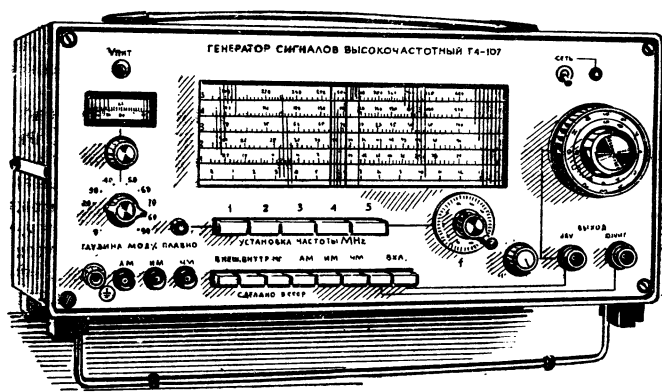


Рис. 2.48

Прибор (рис. 2.48) обеспечивает получение высокочастотного электрического сигнала с регулируемой калиброванной амплитудой, с режимами амплитудной и импульсной модуляции. Класс точности

$$F_1 U_1 \text{ дБ } AM_{10} PM.$$

Основные технические характеристики

Диапазон частот 12,5—400 МГц
Относительная погрешность установки частоты 1%

Нестабильность частоты, Гц	Время прогрева, ч
$2,5 \cdot 10^{-4} f_{\text{ВЫХ}} + 50$ $1 \cdot 10^{-4} f_{\text{ВЫХ}}$	0,5 2

Паразитная девиация частоты $10^{-6} f_{\text{ВЫХ}} + 5$ Гц в полосе частот от 20 Гц до 20 кГц

Диапазон изменения выходного напряжения от 1 В до 1 мкВ

Относительная погрешность установки опорного уровня 1 дБ

Уровень гармоник в выходном сигнале генератора — 26 дБ (5%)

Пределы регулировки и отсчета коэффициента глубины модуляции 0—90%

Глубина модуляции, %	Погрешность установки глубины модуляции, %
10—50	5
50—90	10

Коэффициент искажений огибающей модулированного сигнала 5% для глубины модуляции 80% при частоте модуляции меньше 60 кГц и 10% для глубины модуляции 50% при частоте модуляции больше 60 кГц.

Пределы частоты модуляции от 50 Гц до 200 кГц

Напряжение, необходимое для получения максимальной модуляции, 2 В

Диапазон частот, МГц	Максимальная длительность импульса, мкс	Длительность фронта импульса, мкс	Длительность среза импульса, мкс
Более 50	0,3	0,3	0,2
Менее 50	1	0,5	0,3

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В или частотой $400 \pm \frac{2}{12}$ Гц, напряжением $115 \pm 5,5$ В

Потребляемая мощность 25 ВА

Условия эксплуатации: температура от -10 до $+50^\circ\text{C}$, относительная влажность до 98% при $+35^\circ\text{C}$

Габаритные размеры

$190 \times 360 \times 230$ мм

Масса 10 кг

Этот измерительный генератор (рис. 2.49) построен по методу деле-

ния частоты. Сигнал с частотой верхнего поддиапазона 200—400 МГц генерируется задающим генератором. Плавная перестройка частоты осуществляется конденсатором переменной емкости. Переход от поддиапазона к поддиапазону обеспечивается подключением к задающему генератору цепочки делителей частоты на 2^n . Форма сигнала, снимаемого с задающего генератора и с делителей частоты, сильно отличается от синусоидальной. Для обеспечения малого уровня гармоник в выходном сигнале в приборе Г4-107 применяются фильтры низких частот. Они переключаются одновременно с переключением поддиапазонов.

При перестройке частоты в пределах одного поддиапазона происходит коммутация полосы пропускания фильтра, чтобы вторая гармоника нижней частоты поддиапазона не оказывалась в полосе пропускания фильтра.

После фильтрации сигнал разделяется на два канала. Сигнал вспомогательного канала проходит на выходное гнездо через развязывающий усилитель. Он не модулирован и не стабилизирован по амплитуде. Сигнал основного канала подается на амплитудный модулятор на $p-i-n$ -диодах. Перед подачей на модулятор сигнал стабилизируется по амплитуде предварительным кольцом АРУ. Эта система облегчает режим работы модулятора. Управляющим сигналом для модулятора служит напряжение с дифференциального усилителя постоянного тока системы стабилизации уровня выходного сигнала, сформированное с учетом отклонения величины выходного напряжения, глубины модуляции и формы огибающей выходного сигнала прибора от эталонных значений, подаваемых на вход системы АРУ. Изменения параметров детектора системы АРУ при изменении частоты компенсируются коммутацией величины опорного сигнала на втором входе дифференциального усилителя, происходящей одновременно с коммутацией поддиапазонов.

Импульсная модуляция в приборе Г4-107 производится непосредственно на выходе прибора, после системы

стабилизации. Формирователь импульсного сигнала изменяет форму подаваемого на вход прибора импульса для увеличения быстродействия модулятора. При этом обеспечивается более качественная форма импульса. В режимах НГ и АМ сигнал проходит, минуя модулятор.

Частотная модуляция осуществляется непосредственно в задающем генераторе. Слабое подключение варикапа к контуру обеспечивает достаточную линейность частотой модуляции. Особых мер для сохранения постоянства девиации в диапазоне частот в приборе Г4-107 не предусмотрено, поскольку режим ЧМ для него является вспомогательным. Поэтому при переходе с поддиапазона на поддиапазон необходимо корректировать величину девиации частоты. Вход внешней ЧМ может пропускать по-

стоянную составляющую, и его можно использовать для работы в системе фазовой синхронизации частоты. Та особенность, что все три вида модуляции (ЧМ, АМ, ИМ) в приборе Г4-107 осуществляются в различных каскадах, позволяет вводить эти три режима одновременно.

Аттенуатор прибора резистивный, ступенчатый. Величина ступеней 10 и 1 дБ, ручка плавной регулировки выхода обеспечивает изменение его в пределах 0—1 дБ, что позволяет плавно проходить весь диапазон регулировки выходных напряжений прибора.

Отсчет выходного напряжения осуществляется в децибелах относительно 1 В в режиме НГ. В режимах АМ и ИМ уровень опорного сигнала снижается до 0,5 В и напряжение, регулируемое аттенуатором, отсчиты-

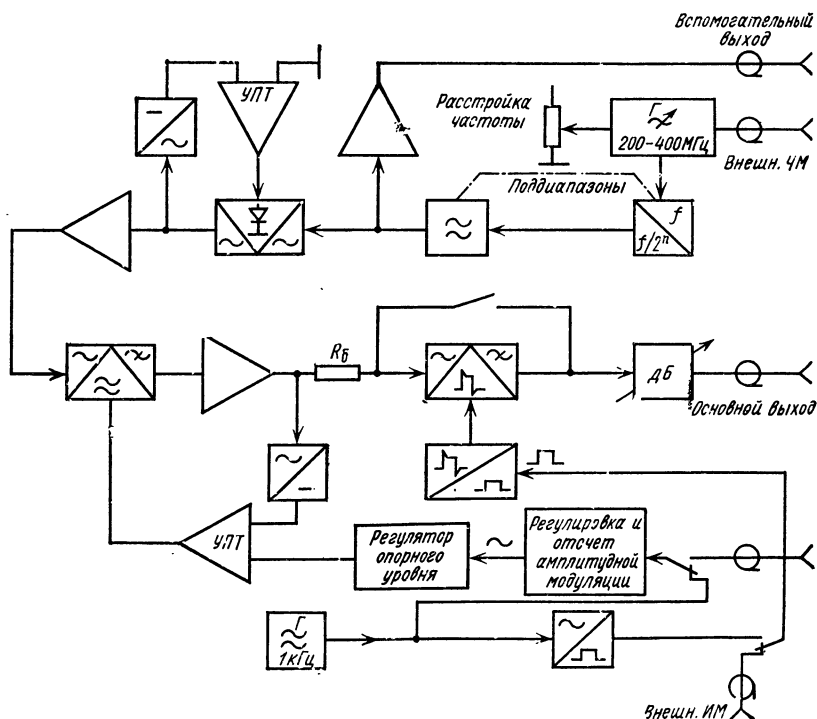


Рис. 2.49

вается от этого уровня. Таблицы перевода величины ослабления в микро-вольты прилагаются к прибору. Для плавной и точной настройки частоты в приборе предусмотрена ручка расстройки частоты, обеспечивающая ее регулировку в пределах $\pm(0,1—0,2)\%$. Относительный отсчет частоты

обеспечивает нониус на основной частотной шкале.

Генератор Г4-107 используется для проверки, контроля и настройки аппаратуры метрового диапазона. Может применяться в измерительных схемах с фазовой синхронизацией частоты.

Генератор сигналов высокочастотный Г4-116

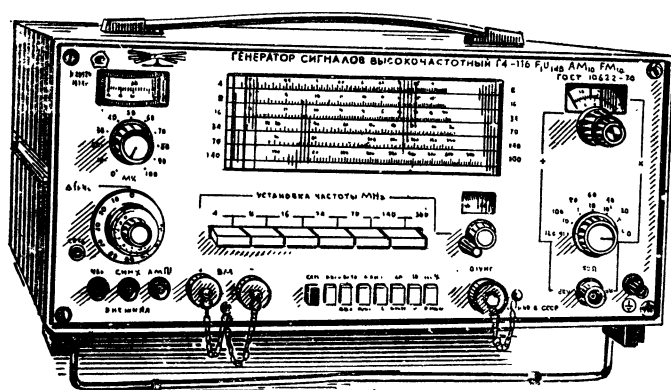


Рис. 2.50

Прибор (рис. 2.50) обеспечивает получение высокочастотного сигнала с калиброванными частотой, амплитудой и режимами калиброванной амплитудной, частотной и видеомодуляции. Класс точности

$$F_1 U_1 \text{ дБ } AM_{10} FM_{10}.$$

Основные технические характеристики

Диапазон частот 4—300 МГц разбит на поддиапазоны: 4—8, 8—16, 16—34, 34—70, 70—140, 140—300 МГц

Относительная погрешность установки частоты 1%

Нестабильность частоты $1,5 \cdot 10^{-4} f_{\text{вых}}$ за 15 мин после самонагрева в течение 1 ч

Диапазон частот, МГц	Паразитная Девияция частоты, Гц, в полосе частот от 30 Гц до 15 кГц
4—34	25
34—140	$3 \cdot 10^{-7} f_{\text{вых}} + 15$
140—235	75
более 235	$10^{-6} f_{\text{вых}}$

Диапазон изменения выходного напряжения 0,5 В—0,5 мкВ

Относительная погрешность установки опорного уровня 1 дБ при уровне 0,1 В

Уровень гармоник в выходном сигнале генератора —26 дБ

Уровень негармонических составляющих не более -26 дБ в полосе частот от $f_{\text{вых}}/3$ до $3f_{\text{вых}}$

Пределы регулировки величины и пределы отсчета коэффициента глубины модуляции от 0 до 90%

Погрешность регулировки величины модуляции (0,05 от значения величины модуляции $+5$)% при значениях величины модуляции от 10 до 80%

Величина модуляции, %	Коэффициент искажений огибающей модулирующего сигнала, %
30	3
80	5

Диапазон частот, МГц	Пределы девиации частоты, кГц, в режиме частотной модуляции
4—8	0,5—75
8—300	0,5—100

В режиме максимальной девиации ее величина равна $3,2 \cdot 2^n - 6$ МГц, где n — номер включенного поддиапазона

Девиация, кГц	Основная погрешность установки девиации
50—100	10%
20—50	5 кГц
10—20	2 кГц
5—10	1 кГц
0,5—5	0,5 кГц

Коэффициент искажений огибающей модулированного сигнала 3% при частоте модуляции от 30 Гц до 20 кГц, при девиации 75 кГц в диапазоне 4—8 МГц и при девиации 100 кГц в диапазоне 8—300 МГц

Прибор обеспечивает возможность модуляции внешним положительным или отрицательным видеосигналом с шириной спектра от 50 Гц до 6,5 МГц.

Неравномерность модуляционной характеристики $\pm 12\%$ относительно уровня модуляции на частоте модуляции 100 кГц

Изменение уровня «черного» не более 3% при $10\% < M < 90\%$

Питание от сети переменного тока частотой (50—60) Гц $\pm 1\%$, напряжением 220 ± 22 В

Потребляемая мощность 60 ВА

Условия эксплуатации: температура от $+5$ до $+40^\circ\text{C}$, относительная влажность до 95% при $+30^\circ\text{C}$

Габаритные размеры

$375 \times 180 \times 350$ мм

Масса 13,5 кг

Структурная схема прибора Г4-116 (рис. 2.51) в значительной степени повторяет структурную схему прибора Г4-107. Отличия имеются в способе формирования верхнего поддиапазона. В данном случае используется метод гетеродинного переноса частоты. Сигнал задающего генератора частотой 200—372 МГц смешивается в преобразователе частоты с сигналом фиксированной частоты 72 МГц. Сигнал разностной частоты 128—300 МГц фильтруется усилителем с полосовым фильтром. Настройка частот среза полосового фильтра производится варикапами, напряжение смещения на которых изменяется синхронно с настройкой частоты задающего генератора.

Режим частотной модуляции обеспечивается варикапом, включенным в контур генератора фиксированной частоты. Это обеспечивает постоянство девиации на любой частоте верхнего поддиапазона. Для сохранения постоянства девиации во всем диапазоне частот генератора в приборе применен резистивный компенсирующий делитель модулирующего сигнала. Его коэффициент деления максимален, когда генератор работает на верхнем поддиапазоне. При переходе на более низкие поддиапазоны, когда и частота, и девиация делятся в 2^n раз, коэффициент деления компенсирующего делителя модулирующего сигнала также уменьшается в 2^n раз, благодаря чему девиация сохраняется постоянной при переходах от диапазона к диапазону.

Линейность модуляционной характеристики позволяет отсчитывать величину девиации по величине модулирующего сигнала. Девиация регулируется двухступенчатой ручкой отсчетного делителя девиации — скачками через 10 кГц и плавно — в пределах 10 кГц. Величина опорного модулирующего сигнала, подаваемого на регулятор девиации, поддерживается постоянной с помощью устройства автоматической установки модуляции (УАУМ). Наличие этого устройства освобождает оператора от необходимости контролировать уровень модулирующего сигнала, однако предъявляет определенные требования к величине сигнала от внешнего модулирующего генератора: он должен быть в пределах 2—7 В.

Аналогичное устройство применено и в цепи амплитудной модуляции. Модулирующий сигнал через отсчетный делитель режима АМ вводится в амплитудный модулятор. В отличие от генератора Г4-107 цепи введения управляющего напряжения системы АРУ и модулирующего сигнала развязаны. Подавление огибающей АМ в усилителе системы АРУ обеспечено специальной обратной связью. Для модуляции сигнала высокой частоты использована зависимость сопротивления эмиттерного перехода транзистора от тока через триод. Этот ток, пропорциональный модулирующему сигналу, вводится в модулятор через специальное устройство формирования модулирующего тока.

И модулятор, и формирователь модулирующего тока используются также в режиме видеомодуляции. В этом случае на входе формирователя модулирующего тока подключается диодный фиксатор «уровня черного», поддерживающий постоянной амплитуду выходного сигнала при регулировке глубины видеомодуляции, а детектор

И модулятор, и формирователь модулирующего тока используются также в режиме видеомодуляции. В этом случае на входе формирователя модулирующего тока подключается диодный фиксатор «уровня черного», поддерживающий постоянной амплитуду выходного сигнала при регулировке глубины видеомодуляции, а детектор

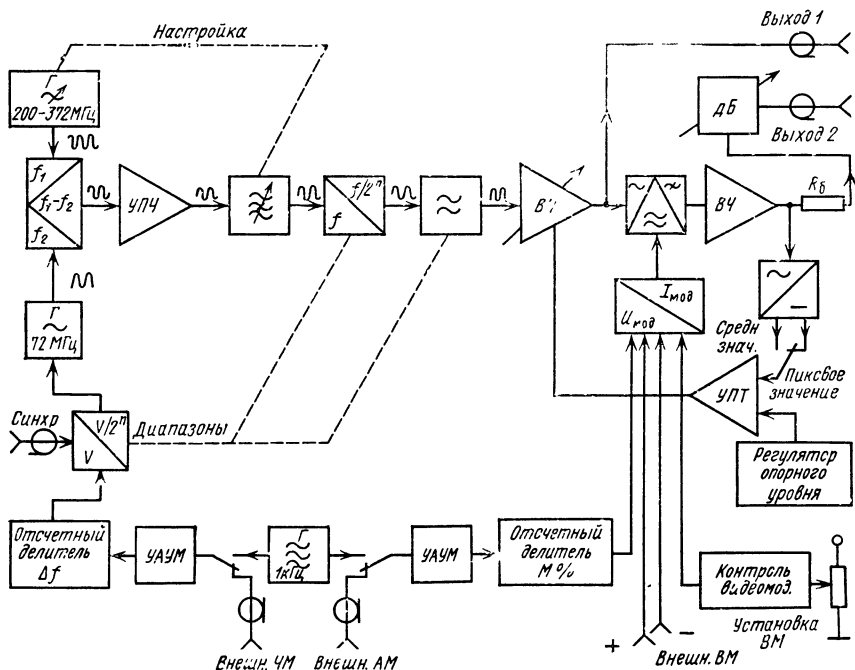


Рис. 2.51

выходного напряжения переводится в режим пикового детектирования. Измерение глубины модуляции в режиме видеомодуляции производится через измерение величины модулирующего сигнала, в режиме амплитудной модуляции — через калиброванное изменение ослабления (отсчетный делитель) в цепи подачи модулирующего сигнала.

Опорный уровень сигнала стабилизируется цепью АРУ. Она же исполь-

зуется для неглубокой плавной регулировки опорного уровня (2 дБ). Регулировка выходного сигнала в широких пределах осуществляется двухступенчатым аттенуатором с шагом регулирования ослабления 20 и 2 дБ.

Прибор Г4-116 комплектуется дополнительным ослабителем сигнала и переходом на тракт 75 Ом. Он предназначен для контроля и настройки телевизионной аппаратуры и приемных устройств с частотной модуляцией.

2.6. Генераторы СВЧ диапазона

Генераторы СВЧ перекрывают диапазон частот от 1 до 40 ГГц. По типу выходного разьема они подразделяются на коаксиальные и волноводные. Частотная граница этих двух групп приборов лежит в районе 7—18 ГГц; имеется тенденция повышения диапазона частот генераторов с коаксиальным выходом, так как они более удобны в эксплуатации.

Характеристики приборов с коаксиальным выходом нормируются ГОСТ 14126—69, с волноводным выходом ГОСТ 17193—71. Принципы нормирования и классификации по точности аналогичны описанным в § 2.3.

Характерным для СВЧ генераторов является сравнительно небольшое перекрытие по частоте (порядка 2) и однодиапазонное построение. В связи с этим генераторы СВЧ выпускаются, как правило, сериями из однотипных приборов на участки диапазона частот.

Типовая структура СВЧ генератора (рис. 2.52) проста в смысле количества электрических узлов и их электрических связей. Существенную роль в обеспечении параметров генератора СВЧ имеют механические узлы. Из них характерны следующие. Отсчет частоты, как правило, производится по механическому счетчику, связанному элементом перестройки частоты через линеаризующее устройство. Счетчик повышает разрешающую способность индикации частоты сигнала генератора, обеспечивает простой и наглядный ее отсчет.

С контура задающего генератора мощность СВЧ сигнала снимается с помощью подвижных устройств связи (емкостных или индуктивных). Однодиапазонность генератора позволяет связать механически съемники мощности с органом настройки частоты.

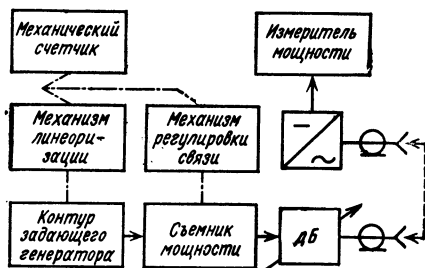


Рис. 2.52

ты. Введение в эту связь определенного закона, обратного закону изменения мощности генератора от изменения частоты, позволяет обеспечить постоянство выходной мощности генератора в диапазоне частот. Замкнутые системы АРУ, характерные для генераторов более низких частот, в генераторах СВЧ практически не применяются. Стабилизация их выходной мощности осуществляется по принципу «регулирования вперед», без обратных связей.

Генераторы СВЧ диапазона имеют встроенный измеритель мощности. В ряде случаев этот измеритель не

подключен постоянно к тракту СВЧ сигнала (как это обычно делается в генераторах более низких частот). Он имеет отдельный вход, и выходной сигнал генератора перед проведением измерений вводится в измеритель мощности, устанавливается требуемой величины и после этого переключается в нагрузку.

Режим модуляции СВЧ генераторов ИМ, ЧМ.

Выходные аттенюаторы СВЧ генераторов используют принцип затухания колебаний в предельном волновом. Ослабление в таком аттенюаторе пропорционально смещению съемника мощности от возбуждающего электрода, отсчет ослабления ведется по величине этого смещения.

Основные сведения о находящихся в эксплуатации генераторах СВЧ диапазона приведены в табл. 2.5.

Генераторы сигналов высокочастотные Г4-55, Г4-56

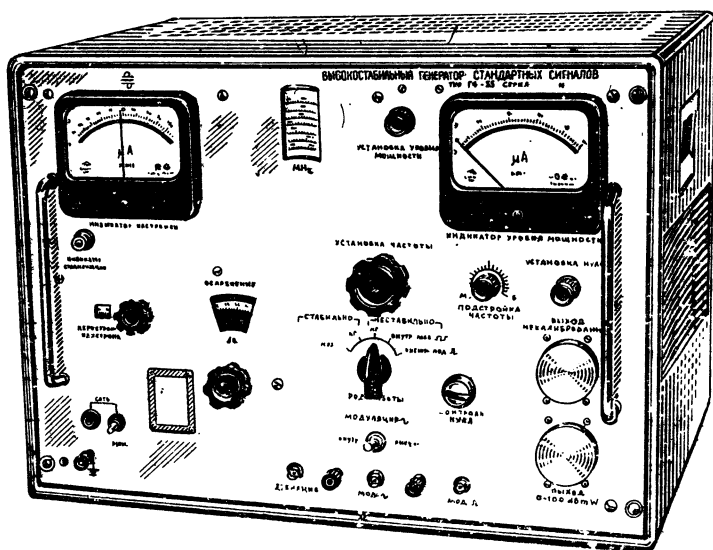


Рис. 2.53

Приборы (рис. 2.53) обеспечивают получение СВЧ сигнала с высокой стабильностью несущей частоты.

Основные технические характеристики

Приборы унифицированы по схеме и конструкции. Они отличаются диапазоном частот, уровнем некалиброванной выходной мощности и массой. Диапазон частот: 7,14—8,56 ГГц для Г4-55; 8,5—9,7 ГГц для Г4-56

Погрешность установки частоты не более 0,05%

Нестабильность частоты:

в стабилизированном режиме после 2 ч прогрева не более $1 \cdot 10^{-6}$ за 10 мин и $1 \cdot 10^{-5}$ за 4 ч, в нестабилизированном режиме не более $1 \cdot 10^{-4}$ за 10 мин после 1 ч прогрева

Относительная паразитная девиация частоты в режиме непрерывной генерации не более $1 \cdot 10^{-7}$.

Таблица 2.5

Генераторы СВЧ диапазона

Тип прибора	Диапазон частот, ГГц	Выходной сигнал, мВт	Сечение волновода, мм, импеданс коаксиала, Ом	Режимы работы	Основные особенности	Способ построения
Г4-55 Г4-56	7,14—8,56 8,5—9,7	10^{-10} — 10^{-10}	28,5×12,6 23×10	НГ, ИМ, ЧМ, АМ	Стабилизация частоты по внешнему резонатору. Волноводный выход (ГСС)	Отражательный клистрон используется в качестве задающего генератора, его частота стабилизируется внешним резонатором
Г4-90 Г4-91	16,65—25,86 25,86—37,5	10^{-12} — 10^{-12}	11×5,5 7,2×3,4	НГ, ИМ, ЧМ	Калиброванный по мощности волноводный выход	Отражательные клистроны с внутренним резонатором. Ослабление сигнала поляризационным аттенуатором
Г4-114 Г4-115	16,5—25,8 25,8—37,5	5 5	11×5,5 1,5×3,4	НГ, ИМ синхронизация	Некалиброванный по мощности волноводный выход	Отражательный клистрон, усиление на ЛВВ
Г4-76 Г4-79	1,16—1,78 1,78—2,56	10^{-12} — 10^{-12}	50 50	НГ, ИМ, ЧМ, АМ НГ, ИМ, ЧМ, АМ	Калиброванный по мощности коаксиальный выход	Отражательный клистрон с внешним резонатором
Г4-80 Г4-81 Г4-82 Г4-83	2,56—4 4—5,6 5,6—7,5 7,6—10,5	10^{-12} — 10^{-12}	50 50 50 50	НГ, ИМ, ЧМ, АМ НГ, ИМ, ЧМ, АМ НГ, ИМ, ЧМ, АМ НГ, ИМ, ЧМ, АМ	Ослабление сигнала мощностью передаточного аттенуатора	Ослабление сигнала с помощью передаточного аттенуатора
Г4-112 Г4-135	8,5—12,42 11,73—17,05	10^{-12} — 10^{-12}	50 50	НГ, ИМ, ЧМ, синхронизация частоты внешним синхронизатором	Калиброванный по мощности коаксиальный выход	Диод Ланна с внешним резонатором. Ослабление сигнала передаточным аттенуатором
Г4-111	6—17,85	2—40	50	НГ, ИМ, ЧМ, синхронизация частоты внешним синхронизатором	Некалиброванный по мощности коаксиальный выход	Отражательный клистрон с умножением частоты
Г4-104 Г4-105	52,63—78,95 36,145—52,63	4 4	3,6×1,8 5,2×2,6	НГ, ИМ, ЧМ	Некалиброванный по мощности волноводный выход	Отражательные клистроны

Выходная калиброванная мощность 10^{-3} — 10^{-13} Вт

Погрешность установки опорного значения мощности 1 мВт не более $\pm 0,5$ дБ

Изменение мощности не более $\pm 0,05$ дБ за 10 мин

Пределы ослабления выходного аттенюатора 0—100 дБ

Погрешность установки ослабления выходного аттенюатора не превышает: $\pm 0,3$ дБ при ослаблении 0—15 дБ,

$\pm 2\%$ при ослаблении 15—100 дБ

КСВН калиброванного выхода не более 1,35

Максимальный уровень выходной некалиброванной мощности:

10 мВт для Г4-55,

20 мВт для Г4-56.

Амплитудная модуляция в стабилизированном режиме

Глубина модуляции 5—15%

Частота модулирующего сигнала 1000 Гц (внутреннего) и 400—2000 Гц (внешнего)

Частотная модуляция в стабилизированном режиме

Девияция $2 \cdot 10^{-5}$ от установленной частоты

Частота внешнего модулирующего сигнала 10—100 Гц

Импульсная модуляция в нестабилизированном режиме

Внутренний меандр с частотой 1000 Гц $\pm 20\%$;

Внешняя модуляция меадром с частотой 250—10 000 Гц, амплитудой 5—10 В

Внешняя модуляция положительными импульсами длительностью 0,2—10 мкс, частотой следования 250—10 000 Гц и амплитудой 5—10 В

Уровень паразитного излучения СВЧ не более $1 \cdot 10^{-3}$ В/м на расстоянии 1 м

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В

Потребляемая мощность 220 ВА

Условия эксплуатации: температура от +5 до +30° С, относительная

влажность до 95% при +30° С, до 80% при +40° С

Габаритные размеры

$540 \times 390 \times 410$ мм

Масса: 42 кг Г4-55, 39 кг Г4-56.

Генераторы Г4-55, Г4-56 (рис. 2.54) имеют систему автоподстройки частоты (АПЧ) по объемному резонатору. При работе в режиме синхронизации по шкале дискриминатора ручкой УСТАНОВКА ЧАСТОТЫ устанавливается значение необходимой выходной частоты, затем ручками ПЕРЕСТРОЙКА и ПОДСТРОЙКА клистронный генератор настраивается на частоту дискриминатора до загорания лампочки индикатора стабилизации.

В нестабилизированном режиме отключается система АПЧ, дискриминатор используется для контроля частоты генератора.

Установочным аттенюатором регулируется уровень сигнала, поступающего на вход двойного направленного ответвителя. Выход прямого канала направленного ответвителя является некалиброванным выходом прибора. Через боковые плечи двойного направленного ответвителя равные части высокочастотной энергии подаются к калиброванному аттенюатору и к индикатору мощности. Для получения калиброванной выходной мощности необходимо по индикатору мощности установочным аттенюатором установить опорное значение мощности и ввести требуемое ослабление калиброванного аттенюатора. При работе с калиброванным выходом некалиброванный выход должен быть нагружен на согласованную нагрузку. Высокочастотный сигнал, подаваемый на термисторный индикатор мощности, отключается волноводным выключателем, управляемым кнопкой КОНТРОЛЬ НУЛЯ. Ручкой УСТАНОВКА НУЛЯ производится начальная балансировка термисторного индикатора мощности. Для предотвращения перегрузки индикатора мощности при уровне выходной мощности прибора на некалиброванном выходе более 10 мВт необходимо работать при нажатой и зафиксированной поворотом по часовой стрелке кнопке КОНТРОЛЬ НУЛЯ.

Переключателем РОД РАБОТЫ выбирается один из возможных режимов работы:

в стабилизированном режиме — непрерывная генерация и амплитудная модуляция

разъем ДЕВИАЦИЯ при положении переключателя РОД РАБОТЫ — НГ.

Генераторы Г4-55 и Г4-56 предназначены для использования в качестве источников колебаний СВЧ при измерении высокочастотных параметров

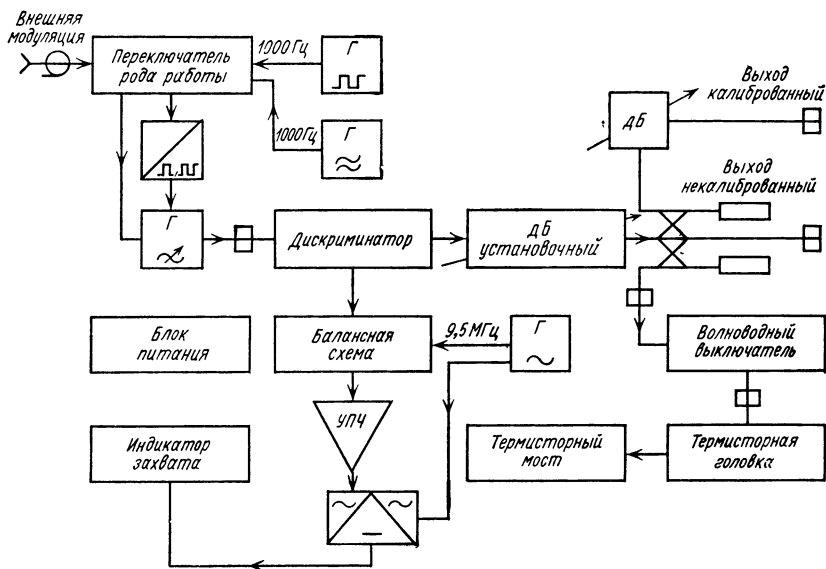


Рис. 2.54

в нестабилизированном режиме — непрерывная генерация, внутренняя импульсная модуляция меандром и внешняя импульсная модуляция импульсами положительной полярности. Режимы внешней частотной модуляции осуществляются при подаче внешнего модулирующего напряжения на

аппаратуры СВЧ и элементов высокочастотного тракта. С их помощью можно измерять спектральные характеристики узкополосных СВЧ сигналов. Как источники высокостабильных сигналов генераторы Г4-55, Г4-56 можно использовать в радиоспектроскопии.

Генераторы сигналов высокочастотные Г4-90, Г4-91

Приборы (рис. 2.55, 2.56) обеспечивают получение СВЧ сигнала, калиброванного по частоте и выходной мощности, модулированного по амплитуде и частоте.

Основные технические характеристики

Приборы унифицированы по схеме и конструкции. Различие технических характеристик в диапазоне ча-

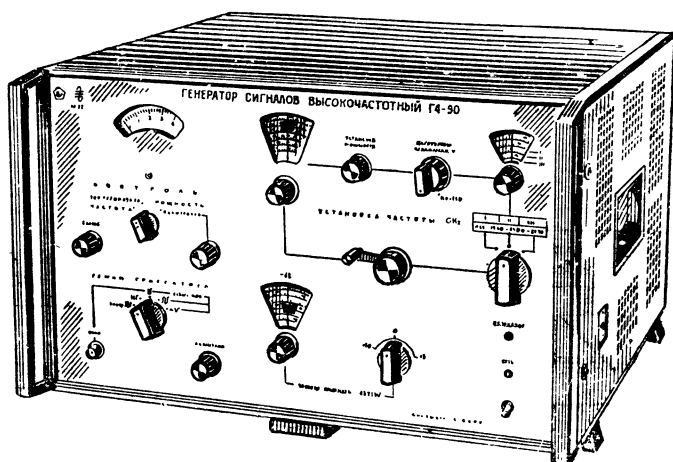


Рис. 2.55

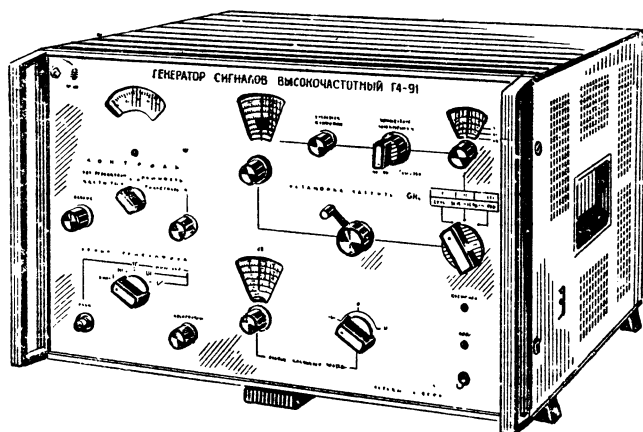


Рис. 2.56

стот, нестабильности частоты и мощности, погрешности ослабления калиброванного аттенюатора, сечении волновода и массе приборов.

Погрешность установки частоты не более 0,1%

Паразитная девиация частоты в режиме непрерывной генерации не более $2 \cdot 10^{-5}$ от установленной величины

Выходная калиброванная мощность $5 \cdot 10^{-3} - 10^{-15}$ Вт

Погрешность установки опорного значения мощности 1 мВт не более ± 1 дБ

Погрешность установки ослабления калиброванного аттенюатора не превышает:

$\pm 0,3$ дБ при ослаблении 0—15 дБ,

$\pm 2\%$ от установленного значения ослабления в децибелах при ослаблении 15—100 дБ

2.6. Генераторы СВЧ диапазона

Прибор	Диапазон частот, ГГц	Сечение волновода, мм	Нестабильность частоты за 15 мин после 0,5 ч самопрогрева не более	Изменение мощности, дБ, за 15 мин после 0,5 ч самопрогрева	Масса, кг
Г4-90	16,65—25,8	11×5,5	10^{-4}	0,15	37
Г4-91	25,8—37,5	7,2×3,4	$1,5 \cdot 10^{-4}$	0,2	36

Для прибора Г4-90 в диапазоне частот 16,65—17,44 ГГц

Погрешность установки ослабления менее

$\pm 0,46$ дБ при ослаблении 0—15 дБ,

$\pm 3\%$ от установленного значения ослабления при ослаблениях 15—100 дБ

КСВН калиброванного выхода приборов 1,3. В приборе Г4-90 для диапазона 16,65—17,44 ГГц КСВН выхода менее 1,5

Импульсная модуляция

Внутренний меандр с частотой 1 кГц $\pm 10\%$

Внешняя модуляция меандром с частотой следования 0,05—10 кГц и амплитудой 10—20 В

Внешняя модуляция одиночными импульсами и пачками импульсов отрицательной полярности длительностью 0,1—10 мкс с частотой следования 0,05—10 кГц и амплитудой 5—10 В. Длительность огибающей радиопульса отличается от длитель-

ности модулирующего импульса не более чем на $10\% \begin{smallmatrix} +0,1 \\ -0,0 \end{smallmatrix}$ мкс

Внешняя частотная модуляция

Синусоидальный или пилообразный сигнал с амплитудой 40 В и 80 В соответственно, частотой 0,05—200 кГц

Величина электронной перестройки не менее 30 МГц

Уровень паразитного излучения СВЧ не более 10^{-3} В/м на расстоянии 1 м от прибора

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В или частотой $400 \pm \frac{1}{2}$ Гц, напряжением $115 \pm 5,5$ В

Потребляемая мощность 170 ВА

Условия эксплуатации: температура от -30 до $+50^\circ\text{C}$, относительная влажность до 98% при 35°C

Габаритные размеры

$480 \times 280 \times 475$ мм

Структурная схема приборов приведена на рис. 2.57.

В генераторной камере смонтированы три отражательных клистрона с внутренними резонаторами, которые

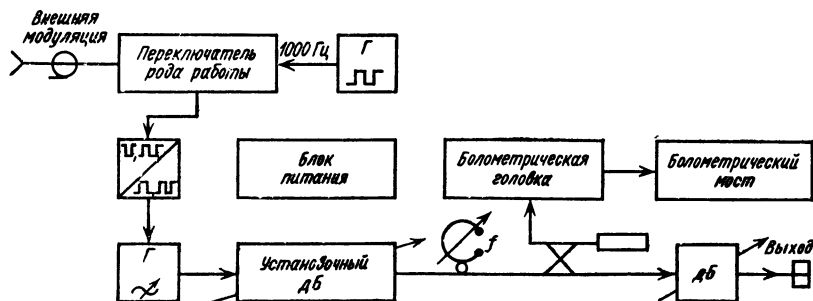


Рис. 2.57

перекрывают общий диапазон прибора. При выборе поддиапазона (I, II, III) к соответствующему клистрону в генераторной головке волноводным переключателем подсоединяется волноводный тракт и механический привод перестройки его частоты. При этом подаются напряжения накала и фокусирующего электрода.

Переключателем РЕЖИМ ГЕНЕРАТОРА выбирается один из возможных режимов работы:

- внутренний меандр,
- непрерывная генерация,
- внешняя модуляция меандром,
- внешняя импульсная модуляция,
- внешняя модуляция синусоидальным и пилообразным напряжением.

Ручкой АМПЛИТУДА регулируется амплитуда модулирующего напряжения, подаваемого на отражатель клистрона в режиме ВНЕШНЯЯ МОДУ-

ЛЯЦИЯ. Возможна модуляция приборов отрицательными импульсами длительностью не более 10 мкс в режиме ВНЕШНЯЯ МОДУЛЯЦИЯ, при этом необходимо подстраиваться ручкой НАПРЯЖЕНИЕ ОТРАЖАТЕЛЯ на оптимальную форму импульса по внешнему индикатору.

На заднюю стенку приборов выведена цепь отражателя (разъем ШЗ), что позволяет управлять частотой генератора постоянным напряжением и превращать прибор в источник сигнала с высокой стабильностью частоты с помощью внешних синхронизаторов частоты.

Генераторы Г4-90, Г4-91 предназначены для измерения чувствительности приемных устройств, измерения диаграмм направленности антенн, а также для использования в качестве источника сигнала при измерениях параметров элементов высокочастотного тракта.

Генераторы сигналов высокочастотные Г4-114, Г4-115

Приборы Г4-114 и Г4-115 (рис. 2.58, 2.59) обеспечивают получение СВЧ сигнала, калиброванного по частоте и выходному уровню.

Основные технические характеристики

Прибор	Диапазон частот, ГГц	Сечение волновода, мм
Г4-114	16,65—25,8	11×5,5
Г4-115	25,8—37,5	7,2×3,4

Погрешность установки частоты $\pm 0,2\%$

Нестабильность частоты не более $1 \cdot 10^{-4}$ после 0,5 ч самопрогрева за любые последующие 15 мин

Паразитная девиация частоты в режиме НГ не более $2 \cdot 10^{-5}$ от установленной частоты

Уровень мощности выходного сигнала не менее $5 \cdot 10^{-3}$ Вт при КСВ внешней нагрузки 1,2

Пределы регулировки уровня выходного сигнала от его наибольшего до наименьшего значения не менее 30 дБ

Нестабильность уровня выходного сигнала не более 0,15 дБ после 0,5 ч самопрогрева за любые последующие 15 мин работы

Уровень паразитной амплитудной модуляции в режиме НГ не более 1%

КСВ выхода генераторов не превышает 1,35 при уровне выходного сигнала $1 \cdot 10^{-3}$ Вт

Импульсная модуляция

Внутренний меандр с частотой следования $1 \text{ кГц} \pm 20\%$

Внешняя модуляция прямоугольными импульсами отрицательной полярности длительностью 0,2—10,0 мкс; частотой следования 0,5—10,0 кГц; амплитудой 5—10 В; длительностью фронта не более 0,125 мкс; длительностью среза не более 0,2 мкс; нерав-

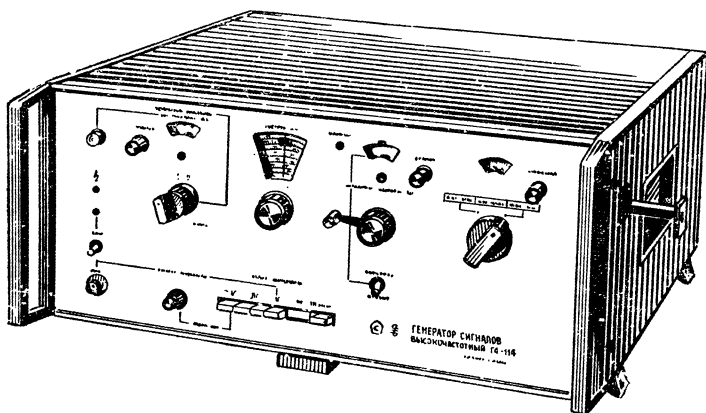


Рис. 2.58

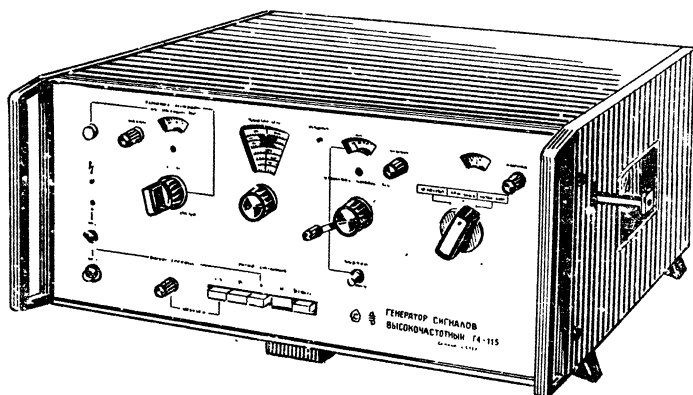


Рис. 2.59

номерностью вершины не более 10%. Длительность огибающей радиоимпульса отличается от длительности модулирующего импульса не более чем $\pm(0,1\tau+0,08)$ мкс, где τ — установившееся (фактическое) значение длительности модулирующего импульса, мкс

Внешняя модуляция меандром частотой следования 0,5—10,0 кГц, размахом 10—20 В

Внешняя модуляция синусоидальным или пилообразным сигналом частотой 0,5—10,0 кГц, размахом 80 В

Плотность потока мощности, излучаемой в пространство, не превышает $2 \cdot 10^{-4}$ Вт/м² на расстоянии 1 м от генератора

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В

Потребляемая мощность не более 170 ВА

Условия эксплуатации: температура от +10 до +35°С, относительная влажность до 80% при +20°С

Габаритные размеры
490×215×475 мм

Масса 30,5 кг

Структурная схема приборов приведена на рис. 2.60.

Источником СВЧ колебаний являются отражательные клистроны. Диапазон каждого генератора перекрывается тремя клистронами. Генераторная камера обеспечивает нормальный режим клистронов и управление ими (переключение волноводных каналов, схемы питания и механизмов перестройки).

Модуляция выходного сигнала осуществляется путем подачи модулирующего напряжения на отражатель клистрона через плату коммутации. Схема модуляции обеспечивает совпадение несущей частоты и пиковой мощности выходного сигнала в различных режимах модуляции. При работе в режиме модуляции внешним синусоидальным или пилообразным сигналом он поступает непосредствен-

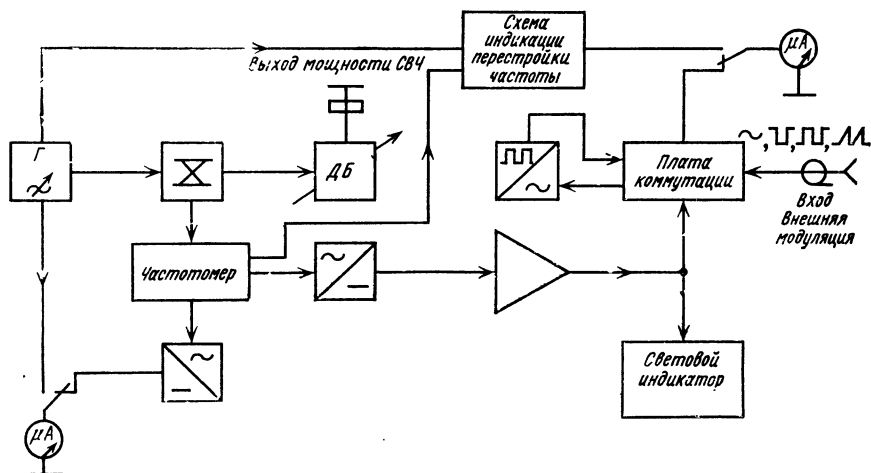


Рис. 2.60

Направленный ответвитель предназначен для отвода части мощности СВЧ из основного волноводного тракта во вспомогательный и далее на частотометр и детекторную головку. Протектированный сигнал подается для контроля генерации на стрелочный индикатор, который используется и для индикации тока резонатора работающего клистрона. При работе генератора в режиме НГ СВЧ сигнал, протектированный детекторной головкой, поступает на предварительный усилитель, где преобразуется в переменный с частотой 1 кГц. Далее он подается на усилитель, световой индикатор резонанса и через плату коммутации — на стрелочный индикатор.

Работа генератора в различных режимах модуляции обеспечивается мо-

дулятором. Модуляция выходного сигнала осуществляется путем подачи модулирующего напряжения на отражатель клистрона через плату коммутации. Схема модуляции обеспечивает совпадение несущей частоты и пиковой мощности выходного сигнала в различных режимах модуляции. При работе в режиме модуляции внешним синусоидальным или пилообразным сигналом он поступает непосредствен-

но на отражатель, минуя модулятор. Уровень СВЧ мощности на выходе генератора устанавливается установочным аттенуатором.

Источники питания обеспечивают необходимыми питающими напряжениями клистроны и все остальные цепи генераторов.

Выходы генераторов волноводные. В генераторной камере смонтированы три отражательных клистронов с внутренними резонаторами, перекрывающими рабочий диапазон частот прибора. Переключателем РЕЖИМ ГЕНЕРАТОРА выбирается один из возможных режимов работы:

- внутренний меандр,
- непрерывная генерация,
- внешняя модуляция меандром,
- внешняя импульсная модуляция,

— внешняя модуляция синусоидальным или пилообразным напряжением.

В приборе предусмотрена возможность управления частотой генерато-

ра постоянным напряжением, что позволяет использовать прибор как источник сигнала с высокой стабильностью частоты, обеспечиваемой внешним синхронизатором частоты.

Генераторы сигналов высокочастотные Г4-78—Г4-83

Приборы (рис. 2.61, 2.62) обеспечивают получение СВЧ сигналов, калиброванных по частоте, уровню выходной мощности и по параметрам импульсной модуляции.

Точность установки частоты 0,5%

Диапазон изменения некалиброванной выходной мощности 10^{-3} — 10^{-15} Вт

Уровень паразитной АМ не хуже 0,1%

Частота следования меандра при внутренней модуляции 1 кГц $\pm 10\%$

Дополнительная погрешность установки выходной мощности при малых ее значениях $\pm 0,8 \cdot 10^{-20}$ дБ

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В

Условия эксплуатации приборов: температура $+5$ — $+40^\circ\text{C}$, относительная влажность до 95% при $+30^\circ\text{C}$

Габаритные размеры

480×475×120 мм

Масса 20 кг

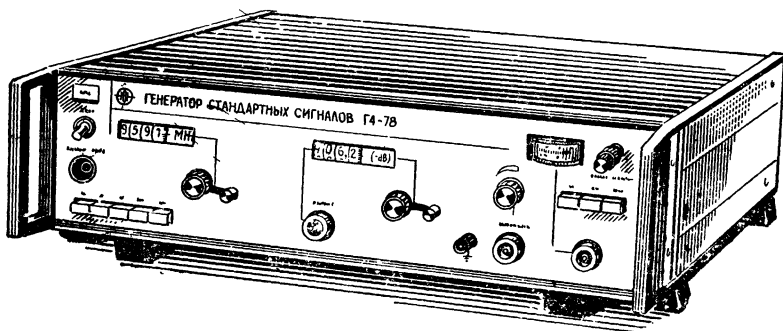


Рис. 2.61

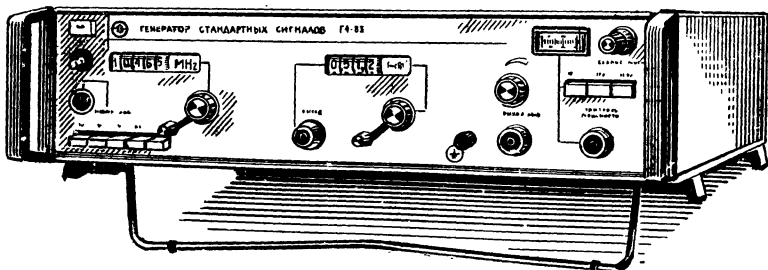


Рис. 2.62

Основные технические характеристики

Основные технические характеристики	Г 4-78	Г 4-79	Г 4-80	Г 4-81	Г 4-82	Г 4-83
Диапазон частот, ГГц	1,16—1,79	1,78—2,56	2,56—4	4—5,6	5,6—7,5	7,5—10,5
Нестабильность частоты за 15 мин	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$
Время самопрогрева, ч	1	0,5	1	2	1	1
Выходная калиброванная мощность, Вт	$10^{-4}—10^{-15}$					
Неравномерность выходной мощности на уровне 10^{-3} Вт, дБ	1	1	1,5	1,5	2	2
Погрешность установки опорного уровня выходной мощности 10^{-4} Вт, дБ: в режиме НГ в режиме ИМ	2,25	2,25	0,3	2,25	1,2 2	1,2 2,25
Погрешность установки ослабления аттенуатора на участке 40—150 дБ	$[0,6 + 0,003(A - 40)]$	$[0,5 + 0,003(A - 40)]$	0,9	$[0,5 + 0,004 \times (A - 40)]$	$[0,25 + 0,0152 \times (A - 40)]$	$[0,25 + 0,015 \times (A - 40)]$
Нестабильность опорного значения мощности за 15 мин, дБ	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
КСВ выхода калиброванного	1,8	1,6	1,8	2,0	2,0	2,0

Продолжение						
Основные технические характеристики	Г 4-78	Г 4-79	Г 4-80	Г 4-81	Г 4-82	Г 4-83
Параметры выходных ВЧ импульсов в режиме внешней ИМ						
Длительность, мкс	0,5—200					
Частота	10 Гц—20 кГц					
Длительность фронта, мкс	0,1 τ + 0,2	0,1 τ + 0,1	0,1 τ + 0,2	0,1 τ + 0,2		0,25
Длительность среза, мкс			0,1 τ + 0,3	0,1 τ + 0,25	0,1 τ + 0,2	
Амплитуда, В	положительной полярности	7—10	7—10	7—10	7—10	20—40
	отрицательной полярности	15—30	15—30	20—30	20—40	
Неравномерность вершины, %	10	20	25	15	10	10
Нестабильность фронта, мкс	0,2					
Полоса электронной перестройки, МГц	2	2,5		2,7		5
Потребляемая мощность, ВА	125	100	150			

Каждый из приборов состоит из 4-х конструктивных узлов: блока ВЧ, блока питания, блока модулятора и измерителя мощности, соединенных между собой электрическими жгутами и разъемами (рис. 2.63). Все генераторы выполнены на клистронах. Колебательные системы генераторов представляют собой коаксиальные резона-

костной. Согласование калиброванного выхода мощности генераторов Г4-78—Г4-81 с коаксиальным трактом обеспечивается введением согласующих сопротивлений в петли связи, а генераторов Г4-82 и Г4-83 — введением ферритовых вентилей. В генераторах Г4-78—Г4-83 постоянство мощности выходного сигнала в диапазоне

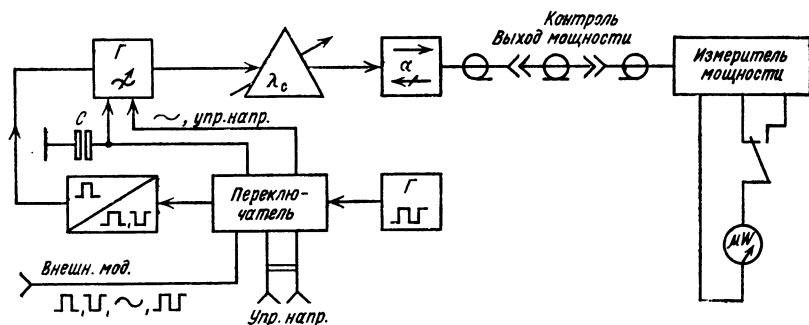


Рис. 2.63

торы, перестраиваемые Z-образными плунжерами. Генераторы снабжены потенциометрической системой, которая обеспечивает изменение напряжения на отражателе при перестройке генераторов по частоте. Управление частотой гетеродина производится кулачковым механизмом, связанным с механическим счетчиком.

Регулирование мощностей сигналов каждого из трех выходов генератора осуществляется перемещением съемников мощности в круглых предельных волноводах. Один из этих волноводов изготовлен с высокой точностью и представляет собой предельный аттенюатор, с помощью которого осуществляется точное ослабление сигнала на выходе прибора. Ось ходового винта аттенюатора соединена с цифровым счетчиком, позволяющим отсчитывать уровень мощности в децибелах относительно ватта. Встроенный измеритель мощности позволяет установить начальное значение уровня выходной мощности, относительно которого производится ее ослабление аттенюатором. Съем мощности в генераторах Г4-78—Г4-81 индуктивный, а в генераторах Г4-82 и Г4-83 — ем-

костной. Согласование калиброванного выхода мощности генераторов Г4-78—Г4-81 с коаксиальным трактом обеспечивается введением согласующих сопротивлений в петли связи, а генераторов Г4-82 и Г4-83 — введением ферритовых вентилей. В генераторах Г4-78—Г4-83 постоянство мощности выходного сигнала в диапазоне

частот обеспечивается за счет автоматического изменения положения съемника при перестройке генератора по диапазону частот. Встроенный термисторный индикатор мощности имеет высокочастотный коаксиальный вход сечением 10/4 мм и обеспечивает измерение опорного уровня в режимах НГ и модуляции меандром на конце ВЧ соединительного кабеля, подключаемого к ВЧ разъему ВЫХОД маркированным концом. Импульсный режим работы генератора СВЧ осуществляется путем подачи модулирующих напряжений в цепь отражателя клистрона через разъем ВНЕШН. МОД. Для обеспечения возможности работы прибора в системах фазовой автоподстройки частоты на двухполюсное гнездо УПР. НАПР. введена высоковольтная цепь отражателя клистрона, через которую подается управляющее напряжение с фазового детектора синхронизатора частоты.

Калибровка индикатора мощности осуществляется на уровне 0,1 мВт. Использовать более высокий уровень (1 мВт) в качестве опорного нецелесообразно из-за повышенной нелиней-

ности attenuатора при малых ослаблениях. С помощью внутреннего индикатора мощности можно произвести калибровку уровней мощности, снимаемой с некалиброванных выходов. Для работы с прибором не обязательно пользоваться встроенным индикатором мощности, однако при этом увеличивается погрешность установки выходной мощности из-за конечной точности системы автоматического поддержания уровня выходной мощности в диапазоне частот.

Максимальная амплитуда синусоидального напряжения, подаваемого на гнездо ВНЕШН. МОД. в режиме ЧМ не должна превышать 45 В. Для получения максимальной точности отсчета частоты необходимо эксплуатировать прибор при нормальной температуре окружающей среды, использовать внешний измеритель частоты с любой степенью точности, подключая его к предусмотренному в приборе дополнительному выходу СВЧ мощности, или работать с прибором в режиме синхронизации частоты, отсчитывая ее непосредственно по исходному высокочастотному сигналу.

Для получения наилучшей стабильности целесообразно увеличить время самонагрева прибора до 2—3 ч и эксплуатировать его при неизменных внешних условиях, особенно при постоянной температуре окружающей среды. Наивысшей стабильности частоты можно достичь в режиме синхронизации частоты относительно внешнего высокостабильного сигнала, при этом стабильность частоты будет определяться стабильностью частоты синхронизирующего сигнала. Наибольшая точность по установке опорного значения мощности может быть достигнута при использовании встроенного индикатора мощности и дополни-

тельных вентилях, подключаемых на конец ВЧ кабеля; при этом калибровка должна производиться при включенном вентиле. Это позволяет исключить часть погрешности, обусловленной КСВН выхода генератора.

Погрешность attenuатора можно уменьшить на $\pm 0,1$ дБ, исключив люфт путем подхода к устанавливаемой величине с одной стороны.

Погрешность установки величины длительности ВЧ импульсов можно уменьшить, если учесть график укорочения ВЧ импульсов. Индивидуальный график прилагается к каждому прибору.

Генераторы Г4-78—Г4-83, кроме их основного назначения, можно использовать для проверки чувствительности приемных устройств, для измерения параметров четырехполюсников, для измерения динамического диапазона селективности приемных и анализирующих устройств, для проверки полос пропускания трактов и приборов, для проверки и отработки attenuаторов, фильтров и элементов тракта. При использовании режима ЧМ он может выполнять функции свип-генератора (с небольшими пределами свипирования). При использовании внутреннего индикатора мощности прибор в некотором динамическом диапазоне (10^{-4} — $1,5 \cdot 10^{-3}$ Вт) может измерять мощность ВЧ колебаний. Наличие внутренней модуляции типа меандр позволяет повысить чувствительность измерений в трактах и тем самым избежать необходимости работать с большими уровнями сигналов. Предусмотренный в приборе режим внешней импульсной модуляции позволяет использовать его для проверки и регулировки импульсных СВЧ приемников и различного рода импульсных СВЧ приборов.

Генераторы сигналов высокочастотные Г4-112, Г4-135

Приборы (рис. 2.64, 2.65) обеспечивают получение СВЧ сигнала, калиброванного по частоте, уровню мощности и модулированного по амплитуде и частоте.

Основные технические характеристики

Нестабильность частоты генератора не более $\pm 1 \cdot 10^{-4}$ от несущей частоты за 15 мин после 1 ч самонагрева

Гл. 2. Измерительные генераторы

Прибор	Диапазон частот, ГГц	Запас на краях диапазона, %	Погрешность установки частоты по шкале прибора, %	КСВ		Подавление сигнала в паузе между импульсами, дБ
				калиброванного выхода	входа измерителя мощности	
Г4-112	8,15—12,42	1	$\pm 0,5$	1,7	1,6	40
Г4-135	11,71—17,44	1,4	$\pm 0,7$	1,8	1,8	25

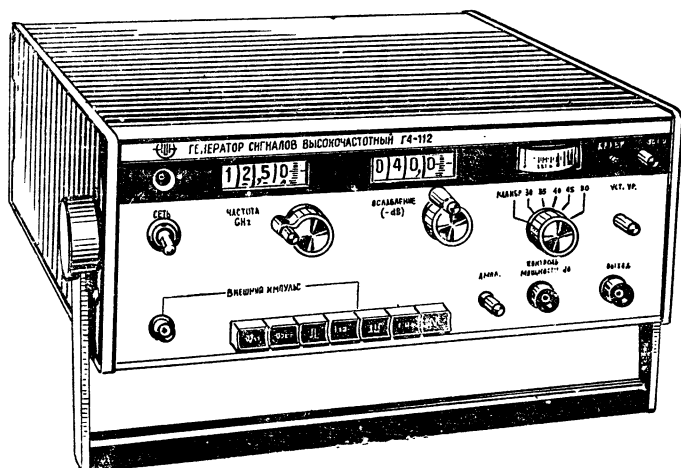


Рис. 2.64

Паразитная девиация частоты не более $1 \cdot 10^{-5}$ от установленной частоты в полосе 50 Гц—20 кГц

Выходная мощность генератора: с калиброванного выхода мощности 10^{-4} — 10^{-15} Вт,

с некалиброванного выхода мощности не менее 300 мкВт до 10 ГГц, 500 мкВт до 12,42 ГГц — Г4-112; 300 мкВт до 16,6 ГГц, 100 мкВт до 17,44 ГГц — Г4-135

Погрешность установки опорного уровня выходной мощности:

не более 1,5 дБ в режиме НГ,

не более 2,25 дБ в режиме ИМ

Нестабильность выходной мощности не более $\pm 0,1$ дБ за 15 мин после 1 ч самопрогрева

Погрешность установки ослабления аттенюатора не более

$\pm [0,3 + 0,015 (A - 50)]$ дБ

Погрешность аттенюатора, обусловленная остаточной выходной мощностью, не более $\pm 0,8 \cdot 10 \frac{A - 150}{20}$ дБ

Подавление уровней второй и третьей гармоник не менее 40 дБ

Паразитная амплитудная модуляция не более 0,1 %

Внешняя импульсная модуляция

Длительность 0,5—50 мкс (скважность не менее 2)

Частота следования 0,05—50 кГц

Амплитуда 5—8 В

Длительность фронта и среза не более 0,1 мкс

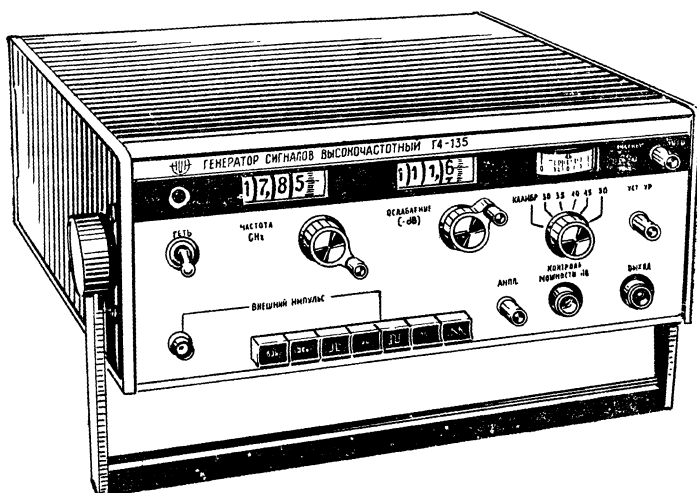


Рис. 2.65

Неравномерность вершины не более 10%

Параметры выходных импульсов

Длительность фронта и среза $0,1 \tau \pm 0,2$ мкс, но не более 0,5 мкс

Неравномерность вершины не более 25%

Отличие от входных импульсов по длительности не более

$$\pm \left(25 + \frac{0,5\tau_{\min}}{\tau} \cdot 100 \right) \%$$

Параметры ВЧ импульсов при внутренней ИМ

Длительность импульса фиксированная 0,3 мкс $\pm 0,15$ мкс; 0,5 мкс $\pm 0,2$ мкс

Длительность фронта и среза не более 0,2 мкс

Частота следования 0,05—50 кГц

Параметры запускающих синхроимпульсов

Амплитуда 2—20 В

Длительность не менее 0,1 мкс и не более 0,5 мкс

Частота следования меандра:

при внутренней модуляции

1 кГц $\pm 10\%$,

при внешней модуляции 0,4—2 кГц

Полоса электронной перестройки не менее 3 МГц

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В или частотой $400 \pm 2\%$ Гц, напряжением $115 \pm 5,5$ В

Потребляемая мощность не более 50 ВА

Условия эксплуатации: температура от -10 до $+50^\circ\text{C}$, относительная влажность до 95% при $+30^\circ\text{C}$

Габаритные размеры

131×328×393 мм

Масса 10 кг

Отличительными особенностями рассматриваемых приборов (рис. 2.66) является то, что они выполнены на диодах Ганна. Приборы имеют: коаксиальные выходы, блочную конструкцию, полупроводниковый встроенный измеритель мощности, прямоотсчетные шкалы частоты и ослабления и позволяют синхронизировать частоту внешним синхронизатором. Они отличаются простотой и удобством эксплуатации,

высокой надежностью, малыми габаритными размерами и массой.

Генерация СВЧ сигнала обусловлена нестационарными явлениями, возникающими в основной структуре диода Ганна — арсениде галлия. Диод включается в коаксиальный резонатор, перестраиваемый по частоте бесконтактным Z-образным плунжером. Его анод соединяется с торцевой стенкой резонатора, а катод с внутренней линией резонатора, изолированной от корпуса по постоянному току. В результате подачи на диод напряжения, большего критического, для колебаний СВЧ диод представляет собой отрицательное сопротивление, что приводит к возбуждению колебаний. Стабилизация частоты автогенератора обусловлена эталонными свойствами резонатора, зависящими от размеров и материала, из которого он изготовлен. В приборе применены коаксиальные резонаторы, из латуни, обеспечивающие нестабильность частоты 10^{-4} , после 15 мин. самопрогрева. В приборе используются свойства диода Ганна изменять свою эквивалентную емкость от величины приложенного к диоду напряжения для обеспечения электронной перестройки частоты при частотной модуляции.

В режиме НГ прибор работает следующим образом. Сигнал с выхода предельного аттенюатора подается на электрически управляемый модулятор.

Группа диодов, которая осуществляет модуляцию СВЧ сигнала ($p-i-n$ -модулятор), в режиме НГ обесточена, что обеспечивает полное прохождение СВЧ сигнала. Вторая группа диодов ($p-i-n$ -аттенюатор), ток через которые определяется потенциометром, позволяет произвести установку с передней панели прибора ручкой УСТ.УР уровня мощности сигнала на выходе прибора. После электрически управляемого модулятора сигнал проходит через ФНЧ, ферритовый вентиль и выносной СВЧ кабель к нагрузке.

В режиме внутренней модуляции меандром включается генератор меандра, импульсы которого с частотой повторения 1 кГц подаются на модулятор. Одновременно на группу $p-i-n$ -диодов, осуществляющих модуляцию СВЧ сигнала, подается напряжение питания, которое при отсутствии импульса обеспечивает затухание сигнала на выходе аттенюатора не менее 40 дБ. При подаче импульса меандр на вход модулятора на его выходе формируется импульс, необходимый для подачи на $p-i-n$ -модулятор. Этот импульс компенсирует на напряжение питания, затухание сигнала в $p-i-n$ -модуляторе уменьшается, и СВЧ сигнал проходит на выходной разъем прибора.

В режиме внутренней импульсной модуляции включается генератор импульсов. На его вход через входной разъем прибора ВНЕШ.МОД. и

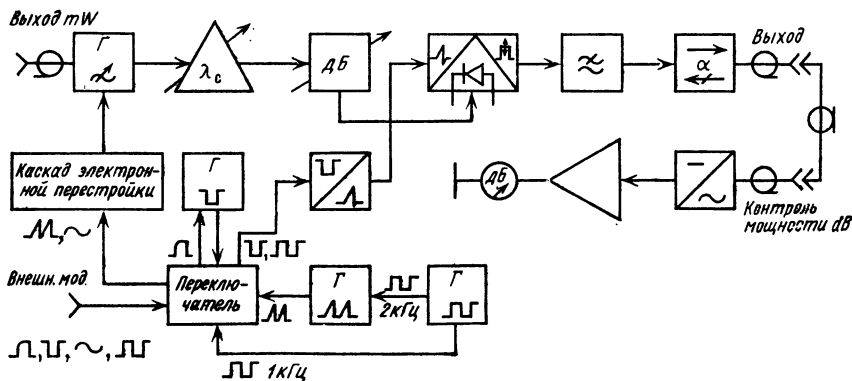


Рис. 2.66

клавишный переключатель подаются внешние синхроимпульсы, в результате чего генератор выдает импульсы прямоугольной формы заданной длительности 0,3 мкс или 0,5 мкс, которые подаются на вход модулятора. Работа $p-i-n$ -модулятора в этом режиме аналогична его работе в режиме модуляции импульсами типа меандр.

В режиме внутренней частотной модуляции пилообразным напряжением включается генератор меандра, который запускает генератор пилообразного напряжения. Напряжение «пила», регулируемое потенциометром, ручка которого АМПЛ. выведена на переднюю панель прибора, подается на каскад электронной перестройки частоты задающего генератора. Это приводит к изменению величины напряжения питания генераторного диода и изменению частоты выходного СВЧ сигнала.

В режиме внешней частотной модуляции внешний сигнал звуковой частоты подается на вход каскада электронной перестройки частоты через разъем ВНЕШН. МОД. и клавишный переключатель. Кроме того, через двухпроводной разъем УПР. НАПРЯЖ., находящийся на задней стенке прибора, на каскад электронной перестройки частоты генератора может быть подано постоянное напряже-

ние для получения постоянного сдвига по частоте. Этот же разъем используется при работе в схеме ФАП с внешним синхронизатором частоты.

Генераторы Г4-112 и Г4-135 выполняют функции источников СВЧ сигналов, калиброванных по частоте, уровню выходной мощности и по параметрам импульсной модуляции. Они могут использоваться для проверки чувствительности приемных устройств, для измерения параметров четырехполосников, для измерения динамического диапазона селективности приемных и анализирующих устройств, для проверки полос пропускания трактов и приборов, для проверки и отработки аттенуаторов, фильтров, элементов тракта. При использовании в режиме ЧМ и в режиме модуляции пилообразным напряжением приборы могут выполнять функции свип-генератора с небольшими пределами свипирования. Наличие внутренней модуляции типа меандр позволяет повысить чувствительность измерений в трактах и тем самым избежать необходимости работать с большими уровнями сигналов. Предусмотренный в приборе режим внешней и внутренней ИМ позволяет использовать его для проверки и регулировки импульсных СВЧ приемников и исследования различного рода импульсной аппаратуры.

Генератор сигналов высокочастотный Г4-111

Прибор (рис. 2.67) обеспечивает получение СВЧ сигнала, калиброванного по частоте, модулированного по амплитуде и частоте.

Основные технические характеристики

Диапазон частот 6—17,85 ГГц
Запас на краях диапазона не менее 1%

Погрешность установки частоты по шкале прибора не более $\pm 0,5\%$

Относительная нестабильность частоты не более $\pm 1 \cdot 10^{-4}$ за 15 мин после 0,5 ч самопрогрева

Относительная паразитная девиация частоты в режиме НГ не более $1 \cdot 10^{-5}$ в полосе частот 50 Гц — 20 кГц

Диапазон частот, ГГц	Выходная мощность МВт
6—8,9	40
8,9—12,05	20
12,05—16,7	8
16,7—17,44	4
17,44—17,85	2

Пределы регулировки мощности 0—30 дБ

Относительная нестабильность выходной мощности не более $\pm 0,1$ дБ за 15 мин после 0,5 ч самопрогрева

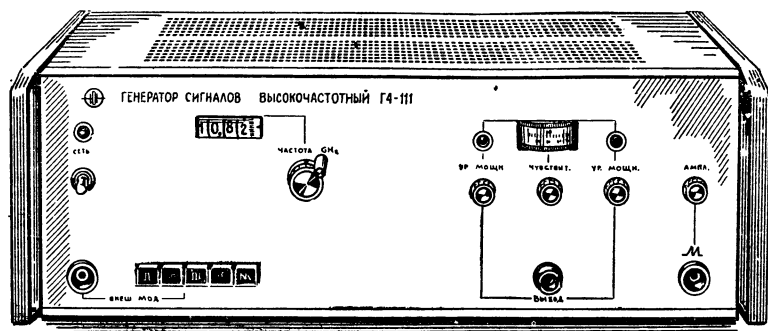


Рис. 2.67

Паразитная амплитудная модуляция выходного сигнала не более 0,3%
Полоса электронной перестройки не менее 3 МГц

Внешняя импульсная модуляция

Длительность импульса 0,5—50 мкс
Частота следования 50 Гц — 10 кГц
Длительность фронта и среза 0,1 мкс
Амплитуда модулирующего импульса 9—12 В
Неравномерность вершины не более 15%

Параметры выходных импульсов

Отличие по длительности от входных импульсов не более

$$\pm \left(25 + \frac{0,5\tau_{\min}}{\tau} \right) \cdot 100\%$$

Длительность фронта не более 0,2 мкс
Длительность среза не более 0,3 мкс
Неравномерность вершины не более 25%
Нестабильность фронта не более 0,3 мкс
Частота следования меандра:
1 кГц $\pm 10\%$ при внутренней модуляции,
0,4 — 2 кГц при внешней модуляции

Подавление сигнала в паузе между импульсами не менее 50 дБ

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В или частотой $400 \pm 1,2^s$ Гц, напряжением $115 \pm 5,5$ В

Потребляемая мощность не более 140 ВА

Условия эксплуатации: температура от -10 до $+50^\circ\text{C}$, относительная влажность до 95% при $+30^\circ\text{C}$

Габаритные размеры
480 \times 160 \times 355 мм

Масса 22 кг

Отличительными особенностями прибора (рис. 2.68) являются широкий диапазон частот, коаксиальный выход во всем диапазоне частот, блочная конструкция, полупроводниковый встроенный блок питания, прямоотсчетная шкала частоты, возможность синхронизации частоты внешним синхронизатором, простота и удобство эксплуатации, высокая надежность.

Генератор работает следующим образом. При перестройке частоты от нижней границы диапазона вверх работает первый автогенератор и к нему подсоединяются модулятор, генератор меандра и пилю через реле и переключатель рода работ. Сигнал с нерегулируемого выхода подается на разъем 6—9 ГГц на задней панели прибора. Сигнал с регулируемого выхода первого автогенератора через электромеханические переключатели подается на разъем ВЫХОД. При переходе частоты прибора через значе-

ние 9 ГГц первый генератор автоматически с помощью реле выключается, включается второй и к нему подключается модулятор и генераторы пилы и меандра. Сигнал с нерегулируемого выхода подается на разъем 9—12 ГГц на задней панели прибора, а сигнал

торого к этому времени системой привода устанавливается равной 6,35 ГГц, что обеспечивает стыковку генераторов без провалов по частоте. Теперь первый автогенератор работает в режиме умножения частоты и сигнал умноженной частоты поступает на разъем

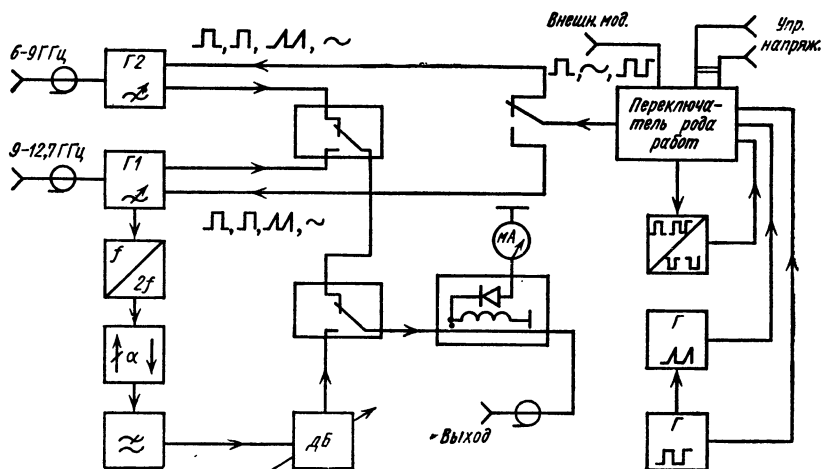


Рис. 2.68

с регулируемого выхода второго генератора через электромеханические переключатели поступает на разъем Выход. При переходе частоты прибора через значение 12,7 ГГц второй генератор автоматически выключается, опять включается первый, частота ко-

ВЫХОД через волноводный вентиль, фильтр нижних частот, аттенуатор, волноводно-коаксиальный переход и электромеханический переключатель.

Генератор Г4-111 предназначен для испытаний и регулировки различных радиоэлектронных устройств.

Генераторы сигналов высокочастотные Г4-104, Г4-105

Приборы (рис. 2.69) обеспечивают получение СВЧ сигнала в миллиметровом диапазоне волн.

Основные технические характеристики

Диапазон частот прибора Г4-104 52630—78950 МГц покрывается пятью генераторными секциями с поддиапазонами частот:

75000—78950 МГц,

69770—75000 МГц,
63830—69770 МГц,
57690—63830 МГц,
52630—57690 МГц

Диапазон частот прибора Г4-105 36145—52630 МГц покрывается двумя генераторными секциями с поддиапазонами частот:

42860—52630 МГц,
36145—42860 МГц

Запас по краям диапазонов и перекрытие между поддиапазонами не менее 50 МГц

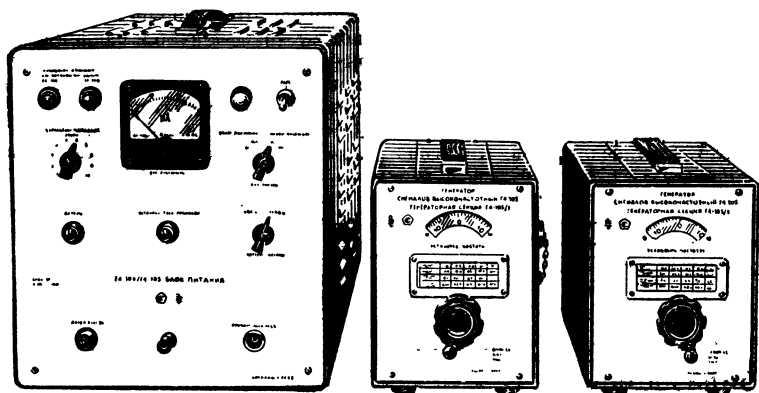


Рис. 2.69

Погрешность установки частоты генераторной секции при подходе с одной стороны (от нуля шкалы) не более $\pm 1,5\%$

Уход частоты за 10 мин:

не более ± 10 МГц после прогрева в течение 0,5 ч;

не более ± 8 МГц после прогрева в течение 1 ч

Уход частоты не более ± 10 МГц при изменении питающего напряжения на $\pm 10\%$ от номинального значения

Уход частоты при переходе из режима НГ в режим модуляции меандра не более ± 30 МГц

Паразитная частотная модуляция:

не более 6 МГц в режиме НГ,

не более 20 МГц в режиме модуляции меандром

Выходная СВЧ мощность прибора не менее 4 МВт

Импульсная модуляция

Частота следования меандра 400 ± 80 Гц и 1000 ± 200 Гц при внутренней модуляции

Параметры положительных прямоугольных импульсов при внешней модуляции

Амплитуда 60—100 В

Длительность 0,5—2 мкс

Длительность фронта и среза не более 0,2 мкс

Частота следования 400—10000 Гц

Длительность фронта и среза выходных импульсов не более 0,2 мкс

Выход прибора: волновод сечением $1,8 \times 3,6$ мм (Г4-104), $5,2 \times 2,6$ мм (Г4-105)

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В

Потребляемая мощность не более 350 ВА

Условия эксплуатации: температура от $+10$ до $+35^\circ\text{C}$, относительная влажность до 80% при $+20^\circ\text{C}$

Габаритные размеры:

блока питания $310 \times 337 \times 540$ мм,
генераторной секции $172 \times 222 \times 285$ мм

Масса:

Г4-104 не более 44 кг,

Г4-105 не более 37 кг

Структурная схема приборов приведена на рис. 2.70.

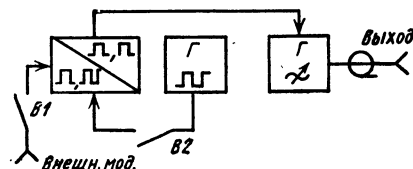


Рис. 2.70

Генератор Г4-104 состоит из пяти сменных генераторных секций, а Г4-105 из двух и придаваемого к ним блока питания. Генераторные секции в сочетании с блоком питания позволяют генерировать СВЧ сигнал в заданном участке рабочего диапазона, определяемом типом клистрона, установленного в секции.

Блок питания обеспечивает питание клистронного генератора требуемыми

напряжениями, внутреннюю модуляцию клистрона меандром, а также подачу на клистрон модулирующих сигналов при работе прибора в режиме внешней модуляции.

Генераторная секция включает в себя клистрон и систему охлаждения клистрона.

Генераторы Г4-104, Г4-105 используются для проверки радиотехнических устройств в миллиметровом диапазоне.

2.7. Генераторы с диапазонно-кварцевой стабилизацией

Основное назначение группы генераторов с диапазонно-кварцевой стабилизацией частоты — обеспечение измерений параметров радиоприемных устройств магистральной, радиотелефонной и другой длинноволновой, средневолновой и коротковолновой радиосвязи. Особенность перечисленных видов радиосвязи состоит в использовании, кроме обычного режима амплитудной модуляции (AM), режима однополосной модуляции (SSB) с заполнением полосы стандартного телефонного канала:

- речевой информацией;
- различного рода телеграфными режимами работы (PM, FT, FT);
- вторичным уплотнением узкополосными каналами связи.

Необходимость измерять параметры радиоприемных устройств, использующих режимы однополосной модуляции, накладывает на измерительный генератор требование высокой точности и стабильности частоты выходного сигнала, реализуемое только при формировании выходного сигнала методом диапазонно-кварцевой стабилизации. Кроме того, ряд измерений требуют многочастотной структуры выходного сигнала. Один из наиболее распространенных способов построения измерительного генератора с диапазонно-кварцевой стабилизацией, обеспечивающий большое перекрытие по диапазону частот, независимость параметров модуляции от частоты выходного сигнала, когерентность ча-

стот выходного сигнала и сигнала опорного генератора поясняется рис. 2.71.

В канале переменной частоты формируется немодулированный высокочастотный сигнал с диапазоном перестройки, по абсолютной величине рав-

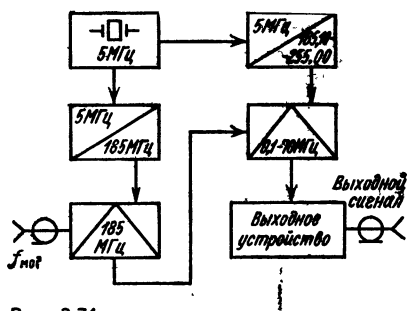


Рис. 2.71

ный заданному диапазону частот выходного сигнала генератора. Канал фиксированной частоты служит для формирования высокочастотного сигнала, равного верхней или нижней частоте канала переменной частоты. Разностная частота обоих каналов, выделяемая смесителем, через выходное устройство, обеспечивающее калиброванную мощность выходного сигнала, поступает на выходной разъем генератора.

Дискретность перестройки частоты выходного сигнала реализуется либо только каналом переменной частоты, либо обоими каналами. Во втором случае канал переменной частоты обеспечивает грубую перестройку частоты (обычно 10—100 точек), а канал фиксированной частоты — точную перестройку в пределах одной ступени канала переменной частоты. Оба канала используют метод многократных когерентных преобразований частоты опорного генератора. Наличие канала фиксированной частоты облегчает по-

лучение различных режимов модуляции, а также сложной структуры выходного сигнала. Смеситель позволяет перенести модуляцию в диапазон частот выходного сигнала генератора.

К рассматриваемым приборам относятся генераторы Г4-73 и ГЗ-101, соответствующие описанному основному назначению. К этому классу генераторов можно также отнести низкочастотный прецизионный генератор сигналов ГЗ-105, по своим характеристикам и назначению полностью соответствующий синтезаторам частоты.

Генератор сигналов низкочастотный ГЗ-101

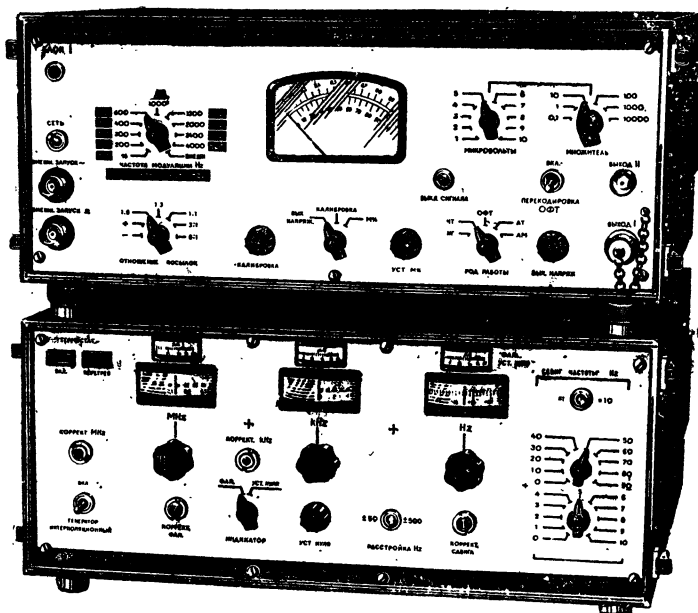


Рис. 2.72

Прибор (рис. 2.72) обеспечивает получение радиочастотного сигнала с амплитудной, частотной и фазовой модуляцией.

Основные технические характеристики

Диапазон частот 1—1999 кГц (шаг 1 кГц)

Относительная погрешность установки частоты $1 \cdot 10^{-6} f_{\text{вых}} + 0,3 \text{ Гц}$

Нестабильность частоты $3 \cdot 10^{-7} \times f_{\text{вых}} + 5 \text{ Гц}$ за 15 мин

Диапазон изменения выходного напряжения:

0,1—1 В на выходе I,

1 мкВ—0,1 В на выходе II

2.7. Генераторы с диапазонно-кварцевой стабилизацией

Относительная погрешность установки напряжения на выходе $\pm 5\%$ от конечного значения шкалы

Величина ослабления аттенюатора от 0 до 100 дБ

Величина ослабления, дБ	Погрешность установки величины ослабления, дБ
60	$\pm 0,5$
80	$\pm 1,0$
100	$\pm 1,3$

Импеданс выходного коаксиала $75 \text{ Ом} \pm 0,5\%$

Уровень гармоник в выходном сигнале генератора -26 дБ (5%)

Полоса частот вблизи несущей, Гц	Величина ослабления негармонических комбинационных составляющих, дБ
± 250 более ± 250	54 60

Модуляция	Частота модуляции, Гц
Внутренняя*	2; 25; 37,5; 50; 75; 125; 150; 250; 300; 600 2—1000
От внешнего источника импульсного сигнала От внешнего источника синусоидального сигнала	50—5000

* Отношение длительности импульса и длительности паузы 1:1; 1:3; 1:6; 6:1; 3:1

Амплитудная модуляция

Пределы регулировки и отсчета коэффициента глубины модуляции от 10 до 90%

Погрешность установки глубины модуляции 10% от конечного значения шкалы

Коэффициент искажений огибающей модулированного сигнала 5% при выходном напряжении 0,5 В

Частота модуляции:

16, 200, 300, 400, 600, 1000, 1200, 2000, 2400, 4000 Гц при внутренней амплитудной модуляции, 50—5000 Гц при внешней амплитудной модуляции

Напряжение 1 В для глубины модуляции 90% при внешней модуляции.

Импульсная модуляция

Величина ослабления сигнала в паузе 40 дБ

Частотная телеграфия

Сдвиг частоты:

0—100 Гц с шагом 1 Гц,

0—1000 Гц с шагом 10 Гц

Погрешность сдвига частоты $\pm (0,05$ от величины сдвига частоты $+ 0,4)$ Гц

Относительная фазовая телеграфия

Сдвиг фазы 180°

Погрешность сдвига фазы $\pm 3^\circ$

Внутренняя синхронизация

Частота входного сигнала, 5, 10 МГц

Величина входного сигнала 0,15—0,2 В

Входное сопротивление 100 Ом

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В

Потребляемая мощность 150 ВА

Условия эксплуатации: температура от $+5$ до $+40^\circ \text{C}$, относительная влажность до 95% при $+30^\circ \text{C}$.

Габаритные размеры блоков

$485 \times 505 \times 230 \text{ мм}$, $485 \times 505 \times 240 \text{ мм}$

Сигнал на выходе прибора (рис. 2.73) образуется в результате смещения напряжений двух генераторов: генератора 1, работающего в диапазоне 7700—9700 кГц, и генератора 2, работающего в диапазоне 9700—9750 кГц. Фильтр нижних частот, сле-

дующий за смесителем, выделяет напряжение разностной частоты, выходной усилитель усиливает его и через ступенчатый аттенуатор (ВЫХОД II) или непосредственно (ВЫХОД I) напряжение поступает на выходные разъемы.

опорным сигналом фазового детектора ФД2. Последний управляет частотой генератора 2 таким образом, что она всегда подстраивается в пределах 9700—9750 кГц.

При использовании сигнала 50 кГц от блока опорных частот частота ге-

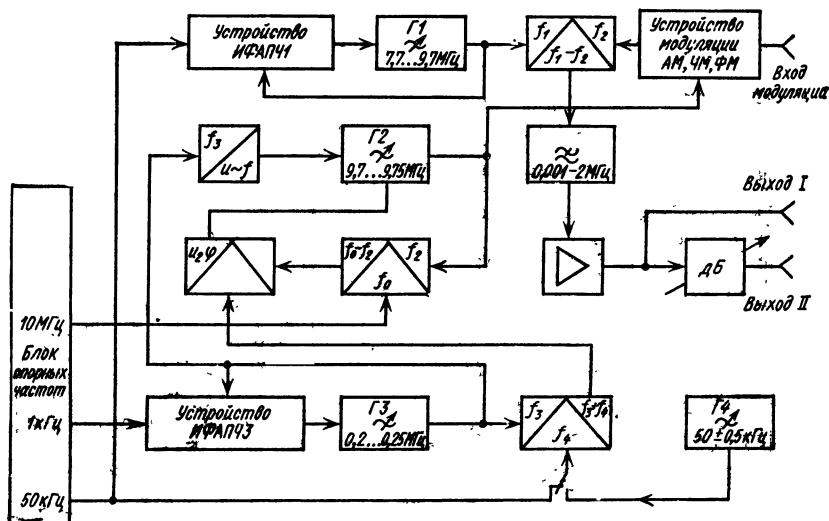


Рис. 2.73

Генератор 1 охвачен кольцом фазовой автоподстройки, позволяющей синхронизировать его частоту с частотой опорного кварцевого генератора через каждые 50 кГц. Таким образом генератор 1 обеспечивает дискретную перестройку частоты выходного сигнала с шагом 50 кГц.

Генератор 2 обеспечивает перестройку частоты выходного сигнала дискретно с шагом 1 кГц и плавно в пределах ± 500 Гц.

Дискретная перестройка через 1 кГц достигается с помощью генератора 3, охваченного кольцом фазовой автоподстройки, позволяющим синхронизировать его частоту с частотой опорного кварцевого генератора через каждый 1 кГц в диапазоне от 200 до 250 кГц. Сигнал с генератора 3 с помощью смесителя 3 суммируется с сигналом частотой 50 кГц и служит

генератора 2 будет изменяться когерентно с частотой опорного генератора дискретно с шагом 1 кГц.

При использовании в качестве источника сигнала 50 кГц интерполяционного генератора 4 можно получить либо плавную расстройку частоты выходного сигнала в пределах ± 50 или ± 500 Гц, либо режим частотной манипуляции.

Сигнал генератора 2 на смеситель 1 поступает через модулятор, обеспечивающий режимы работы: амплитудной модуляции, амплитудную манипуляцию и относительно-фазовую манипуляцию.

Для обеспечения оптимальных условий работы кольца фазовой автоподстройки генератора 2 в схеме осуществляется подстройка контура генератора 2 в соответствии с изменением частоты генератора 3 с помощью час-

тотного детектора. При изменении частоты генератора 3 частотный детектор вырабатывает напряжение, подстраивающее контур генератора 2 на частоту, соответствующую центру полосы синхронизации.

Генератор ГЗ-101 предназначен для регулировки и испытаний систем свя-

зи, различной радиотелеграфной аппаратуры, работающей в длинноволновом и средневолновом диапазонах, а также для настройки других радиоизмерительных приборов различного назначения, требующих наличия источника синусоидального сигнала с высокой стабильностью по частоте.

Генератор сигналов высокочастотный Г4-73

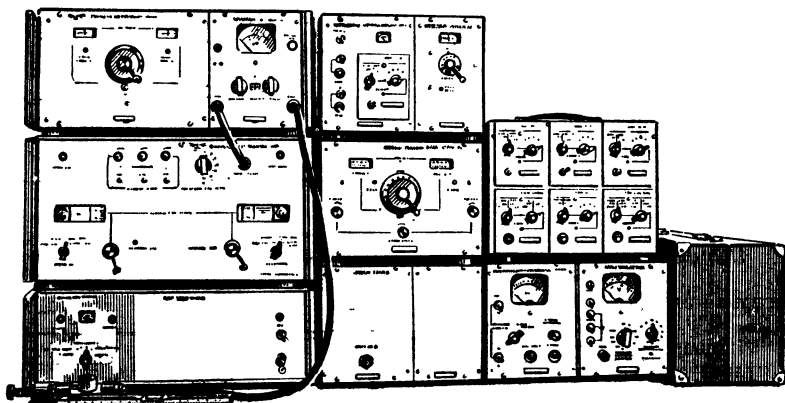


Рис. 2.74

Прибор (рис. 2.74) обеспечивает получение радиочастотных сигналов двухчастотной структуры с амплитудной и частотной модуляцией и манипуляцией.

Основные технические характеристики

Диапазон частот первого сигнала 0,1—70 МГц (шаг 10 кГц, возможна плавная перестройка с внешним интерполятором), частота второго сигнала 128 кГц

Относительная погрешность установки опорного уровня 10%

Выходное сопротивление 50 Ом

Ослабление негармонических комбинационных составляющих:

60 дБ в полосе ± 100 кГц,

40 дБ за полосой ± 100 кГц

Амплитудная модуляция

Пределы регулировки величины и пределы отсчета коэффициента глубины модуляции от 10 до 95%

Погрешность регулировки глубины модуляции $\pm (0,05 \text{ мк} 4 \%)$

Коэффициент искажений огибающей модулирующего сигнала:

5% для глубины модуляции до 30%,

15% для глубины модуляции до 95%

Частота модуляции

1000 Гц при внутренней АМ,
от 50 до 5000 Гц — от внешнего источника синусоидального сигнала

Напряжение, необходимое для получения максимальной глубины модуляции, равной 95%, составляет 5 В

Гл. 2. Измерительные генераторы

Параметры	0,1—70 МГц в режиме		128 кГц в режиме	
	непрерывной генерации	частотной телеграфии	непрерывной генерации	частотной телеграфии
Погрешность установки частоты	$10^{-7} f_{\text{вых}}$	$10^{-7} f_{\text{вых}} + 1 \text{ Гц}$	5 Гц	1 Гц
Нестабильность частоты	$10^{-7} f_{\text{вых}}$	$10^{-7} f_{\text{вых}} + 10^{-2}$ от значения сдвига частоты $+ 2 \text{ Гц}$	2 Гц	10^{-2} от значения сдвига частоты $+ 2 \text{ Гц}$
Пределы выходного напряжения, В	$10^{-7}—0,1$	—	$10^{-5}—1$	
Уровень гармоник в выходном сигнале генератора, дБ	20	—	40	

Импульсная модуляция

Частота модуляции:

25, 1000 Гц при внутренней ИМ (отношение длительности импульса к длительности паузы 1 : 1),
от 25 до 2500 Гц (скорость работы 50—5000 бод) — от внешнего источника импульсного сигнала

Величина ослабления сигнала в паузе 20 дБ

Величина искажения длительности импульса по уровню 0,5 (телеграфное искажение):

3% для скорости работы до 1200 бод,
6% для скорости работы до 5000 бод

Однократная и двукратная частотная телеграфия

Частотная телеграфия	Величина сдвига частоты, Гц
Однократная	15; 125; 250; 500; 1000; 4000; 8000
Двукратная	15; 125; 250; 500; 1000

Погрешность сдвига частоты $3 \cdot 10^{-2}$ от значения сдвига частоты $+ 0,5 \text{ Гц}$

Режим частотной телеграфии	Частота модуляции, Гц	Скорость работы, бод
Внутренний	25	50
От внешнего источника импульсного сигнала	2, 5—2500	5—5000

Величина искажения длительности импульса по уровню 0,5 (телеграфное искажение):

3% при скорости работы до 1200 бод,
6% при скорости работы до 5000 бод

Диапазон частот, МГц	0,1—70	0,128
Отношение уровня сигнала помехи к уровню сигнала информации, дБ	от 0 до 70 (шаг 10 дБ)	от +10 до —35 (шаг 5 дБ)

Двухчастотный режим

Информационный сигнал с модуляцией АМ, ИМ, ФТ

Сигнал синусоидальной помехи
Расстройка частоты относительно несущей информационного сигнала ± 10 кГц (плавная)

Погрешность отсчета расстройки частоты $\pm (2 \cdot 10^{-2})$ от значения расстройки частоты $+50$ Гц)

Трехчастотный режим

Пилот-сигнал синусоидальный, сигнал А и сигнал Б

Расстройка частоты относительно пилот-сигнала (плавно) ± 10 кГц

Погрешность отсчета расстройки частоты $\pm (2 \cdot 10^{-2})$ от значения расстройки частоты $+50$ Гц)

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В

Потребляемая мощность 225 ВА

Условия эксплуатации: температура от $+5$ до $+40^\circ\text{C}$, относительная влажность до 95% при $+30^\circ\text{C}$

Блок	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
Преобразователь декадный	$500 \times 260 \times 510$	34
Блок модуляторов	$500 \times 220 \times 510$	30
Блок питания	$500 \times 180 \times 500$	27

Структурная схема генератора приведена на рис. 2.75.

Сигнал на выходе прибора по каждому каналу образуется в результате смещения напряжений двух источников сигнала: декадного преобразователя (синтезатора частоты), работающего в диапазоне частот 185—255 МГц, и источника сигнала с частотой 185 МГц, в качестве которого используются информационный сигнал по каналу пилот-сигнала и вспомогательные сигналы с генераторов боковых сигналов А и Б по каналам А и Б. Далее сигналы суммируются линейным сумматором, и через аттенуатор напряжение поступает на выходной разъем.

В режиме амплитудной модуляции и амплитудной манипуляции включен блок «Манипулятор амплитудный». Преобразование идет только по каналу пилот-сигнала.

В режиме частотной манипуляции включен блок «Манипулятор частотный». Преобразование идет только по каналу пилот-сигнала.

В режиме работы с двухчастотной структурой выходного сигнала включены блоки «Манипулятор амплитудный» или «Манипулятор частотный» и «Генератор помехи». Преобразование идет по каналу пилот-сигнала (информационный сигнал) и каналу Б (сигнал синусоидальной помехи).

В режиме работы с трехчастотной структурой сигнала включен блок «Гетеродин трехчастотный». Преобразование идет по каналу пилот-сигнала (пилот-сигнал), каналу А (сигнал А) и каналу Б (сигнал Б).

На частоте 128 кГц прибор работает аналогично.

Линейный сумматор сигналов выполнен на электровакуумных пентодах с высокой крутизной. Мощности сигналов складываются на общей анодной нагрузке. Линейность анодных характеристик пентодов обеспечивает низкий уровень перекрестных искажений сумматора.

Преобразователи пилот-сигнала, сигналов А и Б выполнены по одному принципу.

Выходной сигнал каждого канала образуется смещением сигналов синтезатора частоты с частотой 185—255 МГц и сигнала соответствующего канала с частотой 185 МГц. Разностный сигнал выделяется фильтром нижних частот, усиливается широкополосным усилителем и поступает на выходной разъем блока. Для обеспечения постоянства выходного напряжения по диапазону частот в преобразователе каждого канала имеется цепь автоматической регулировки уровня. Регулируемым параметром является коэффициент усиления резонансного управляемого усилителя 185 МГц. Источником сигнала частоты 185 МГц для преобразователя пилот-сигнала служит преобразователь частоты 185 МГц (рис. 2.76).

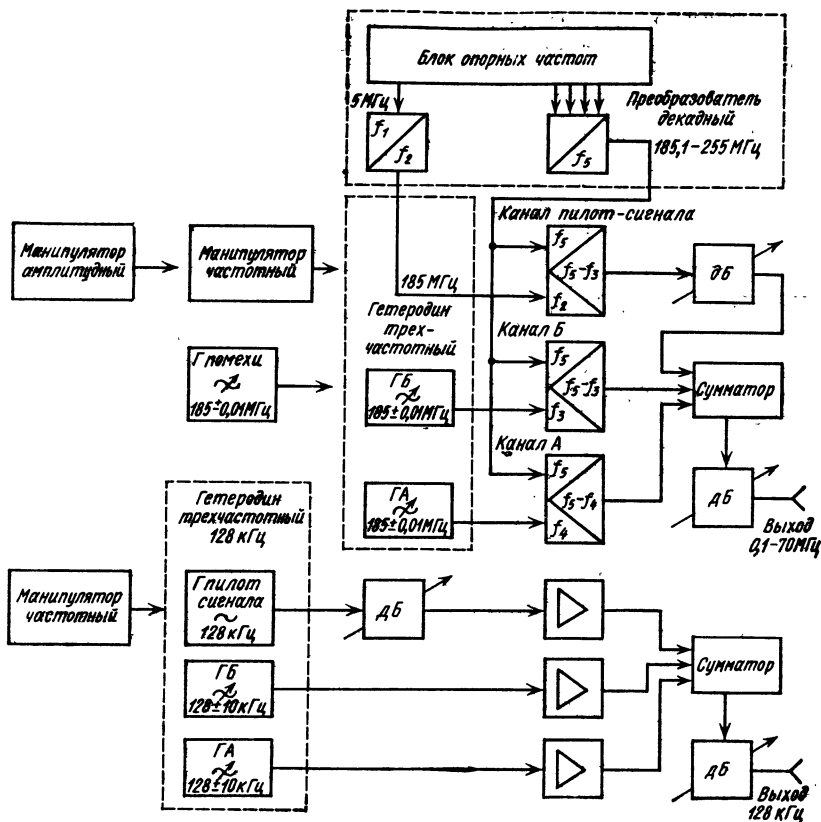


Рис. 2.75

Генератор сигнала частотой 185 МГц охвачен кольцом фазовой автоподстройки, позволяющим синхронизировать его частоту с частотой опорного

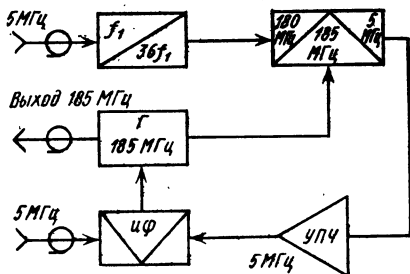


Рис. 2.76

кварцевого генератора. На вход умножителя поступает сигнал 5 МГц с блока опорных частот. На вход фазового детектора поступает сигнал 5 МГц с частотного манипулятора в режиме частотной манипуляции или с блока опорных частот в других режимах.

Генераторы сигналов А и Б выполнены идентично. Они содержат перестраиваемый кварцевый генератор, работающий на частоте 7,4 МГц с перестройкой в пределах ± 400 Гц, и умножитель частоты на 25. При умножении частота генератора становится равной 185 МГц, а перестройка увеличивается до ± 10 кГц. Генераторы могут перестраиваться

2.7. Генераторы с диапазононо-кварцевой стабилизацией

как независимо друг от друга, так и синхронно при помощи механической связи между конденсаторами перестройки.

В частотном манипуляторе (рис. 2.77) выходной сигнал с частотой

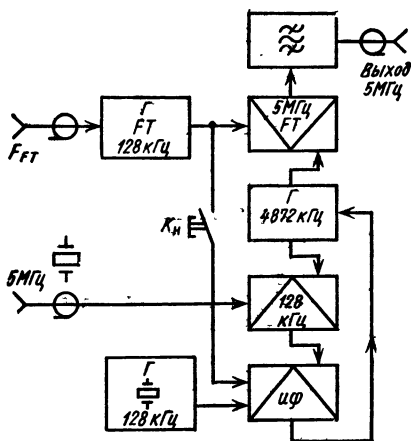


Рис. 2.77

5 МГц получается путем смешивания сигналов гетеродина FT , работающего на частоте 128 кГц, и вспомогательного генератора с частотой 4872 кГц. Вспомогательный генератор охвачен кольцом фазовой автоподстройки, позволяющим поддерживать его частоту равной разности между частотами опорного генератора 5 МГц и местного кварцевого генератора 128 кГц.

Для повышения точности установки центральной частоты гетеродина FT введена калибровка частоты гетеродина по нулевым биениям с сигналом местного кварцевого генератора 128 кГц.

Частотная манипуляция гетеродина FT осуществляется коммутацией конденсатора контура гетеродина с помощью электронного коммутатора.

Амплитудный манипулятор, работающий на частоте 185 МГц, выполнен по схеме сеточного модулятора на электровакуумном пентоде. Для получения режимов амплитудной модуляции и манипуляции амплитудный манипулятор включают между преоб-

зователем частоты 185 МГц и преобразователем пилот-сигнала.

Декадный преобразователь (рис. 2.78) работает следующим образом. Дискретная установка частоты генератора 185—255 МГц через 10 кГц производится с помощью двух колец фазовой автоподстройки. Генератор 185—255 МГц охвачен кольцом фазовой автоподстройки, позволяющим синхронизировать его частоту в диапазоне от 185 до 255 МГц дискретно через каждый 1 МГц.

Вспомогательный генератор 8—9 МГц охвачен вторым кольцом фазовой автоподстройки, позволяющим синхронизировать его частоту в диапазоне от 8 до 9 МГц дискретно через каждые 10 кГц. Так как сигнал генератора 8—9 МГц поступает на фазовый детектор кольца ФАП генератора 185—255 МГц, частота генератора 185—255 МГц также может быть синхронизирована с частотой опорного генератора через каждые 10 кГц.

Если на фазовый детектор кольца ФАП генератора 8—9 МГц вместо сигнала 500 кГц с блока опорных частот подавать сигнал с изменяемой частотой в пределах от 500 до 510 кГц, будет обеспечена плавная перестройка сигнала генератора 185—255 МГц с погрешностью, равной сумме погрешностей опорного генератора и генератора 500—510 кГц.

Блок опорных частот содержит умножители и делители сигнала опорного генератора частотой 5 МГц.

На частоте 128 кГц линейное суммирование сигналов трех каналов осуществляется с помощью двухступенчатого трансформаторного балансного сумматора.

В режиме частотной манипуляции с блоком «Манипулятор частотный» сигнал на усилитель пилот-сигнала подается непосредственно с гетеродином ЧМ.

В режиме трехчастотной структуры выходного сигнала каждый сигнал образуется своим генератором. В канал пилот-сигнала поступает сигнал с кварцевого генератора, работающего на частоте 128 кГц. В каналы А и Б поступают сигналы с генераторов А и Б, выполненных аналогично, работающих в диапазоне частот 118—

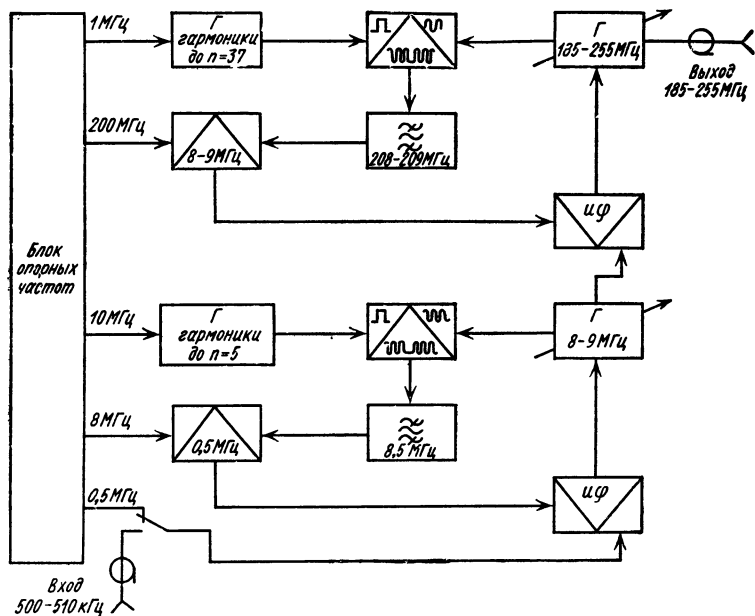


Рис. 2.78

138 кГц и имеющих независимую друг от друга перестройку частоты.

Генератор Г4-73 предназначен для регулировки и испытаний систем магистральной и низовой радиосвязи, различной радиотелеграфной аппара-

туры, работающей в длинноволновом, средневолновом и коротковолновом диапазонах, а также для настройки других радиоизмерительных приборов, требующих наличия источника синусоидального сигнала с высокой стабильностью по частоте.



Глава 3

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ

3.1. Общие сведения

Измерение мощности в области высоких (ВЧ) и сверхвысоких частот (СВЧ) является одним из основных видов измерений и осуществляется с помощью ваттметров. Эти приборы применяются при разработке, регулировке, проверке источников СВЧ сигналов, усилителей СВЧ, регулировке и испытаниях стробоскопических осциллографов, анализаторов спектра СВЧ сигналов, оптических квантовых генераторов и т. д.

Если на постоянном и переменном токе низкой частоты более удобными и точными видами измерений являются измерения напряжения или тока, то в СВЧ диапазоне измерение этих параметров затруднено, так как размеры входных цепей аппаратуры соизмеримы с рабочей длиной волны. Любое отличие импедансов источника и нагрузки от характеристического сопротивления передающего тракта приводит к неоднозначности величины напряжения вдоль линии передачи. В волноводах измерение напряжения вообще лишено практического смысла.

Мощность, передаваемая в нагрузку по линии без потерь, является величиной, неизменной в любом сечении. Поэтому измерение мощности в диапазоне СВЧ позволяет более точно характеризовать источники с энергетической точки зрения.

Различают измерение проходящей и поглощаемой мощности.

В соответствии с этим приборы для измерения мощности делятся на ватт-

метры проходящей и поглощаемой мощности (рис. 3.1).

Группа ваттметров поглощаемой мощности является самой многочисленной.

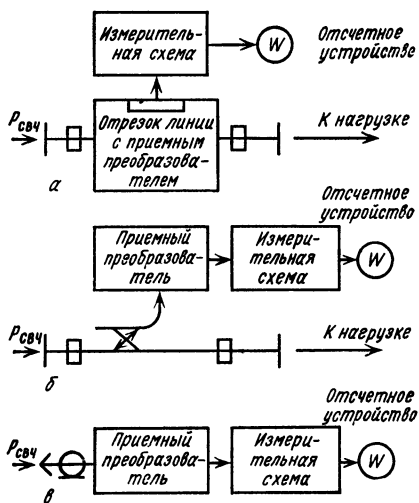


Рис. 3.1

Для измерения мощности применяется большое число различных методов. Все они сводятся к преобразованию СВЧ мощности в другой вид энергии, удобной для измерения. Следовательно, основными узлами любого

го ваттметра являются приемный преобразователь, в котором происходит преобразование энергии СВЧ, и измерительная схема с отсчетным устройством.

Наибольшее распространение получили приборы, базирующиеся на тепловых методах измерения. К их числу относятся калориметрические, болометрические и термоэлектрические ваттметры. Кроме того, используются, но значительно реже, методы, основанные на электронных, пондеромоторных и других эффектах.

К основным характеристикам ваттметров относятся: входной импеданс, рабочий диапазон частот, пределы измерений (динамический диапазон), основная погрешность, коэффициент эффективности приемного преобразователя, время установления показаний.

Обычно входной импеданс ваттметров поглощаемой мощности Z_B не равен характеристическому сопротивлению Z_0 линии передачи, т. е. $Z_B \neq Z_0$, поэтому и мощность, рассеиваемая в ваттметре поглощаемой мощности, отличается от номинальной мощности источника, под которой понимают мощность отдаваемую в согласованную нагрузку.

Степень согласования входного импеданса ваттметра с линией передачи характеризуется коэффициентом отражения

$$\Gamma_B = (Z_B - Z_0) / (Z_B + Z_0).$$

Модуль коэффициента отражения определяется как отношение амплитуды напряженности поля отраженной волны к амплитуде напряженности поля падающей волны: $\Gamma = E_{отр} / E_{пад}$.

В практике удобнее пользоваться коэффициентом стоячей волны $K_{ст} U$, который связан с коэффициентом отражения соотношением

$$K_{ст} U = (1 + |\Gamma_B|) / (1 - |\Gamma_B|).$$

Относительная величина мощности, отраженной от входа ваттметра поглощающего типа, равна $|\Gamma_B|^2$.

Таким образом, точность измерения номинальной мощности источника тем

выше, чем меньше коэффициент отражения.

Рабочий диапазон частот ваттметра представляет собой диапазон частот, для которого основная погрешность не превышает нормируемых значений.

Как правило, ваттметры работают без перестройки по частоте. Широкий рабочий диапазон ваттметра в большинстве случаев достигается применением сменных приемных преобразователей. Рабочий диапазон частот ваттметров обычно выражается в гигагерцах.

Пределы измерений мощности (динамический диапазон) выражают либо в ваттах (дольных и кратных единицах), либо в децибеллах относительно уровня 1 мВт [дБм].

Динамический диапазон ваттметров обычно не превышает 30—40 дБ. Он может быть расширен с помощью сменных приемных преобразователей или внешних делителей (аттенюаторов, направленных ответвителей).

Основная погрешность характеризует точность ваттметра и определяется путем непосредственного сличения показаний ваттметра с показанием образцового ваттметра в нормальных условиях либо подсчитывается по отдельным составляющим, полученным при поэлементной поверке.

При эксплуатации ваттметров в рабочих условиях, отличающихся от нормальных, погрешность у большинства приборов изменяется. Для оценки прибора с точки зрения изменения его погрешности под действием одного из влияющих факторов ГОСТ 9763—67 введен такой параметр, как дополнительная погрешность. Различают дополнительную температурную погрешность, дополнительную погрешность от изменения напряжения питающей сети и др.

Коэффициент эффективности приемного преобразователя ваттметра представляет собой отношение коэффициента преобразования на СВЧ к коэффициенту преобразования на постоянном токе или токе низкой частоты.

Применительно к болометрическим и термисторным преобразователям коэффициент эффективности есть от-

ношение замещающей мощности к мощности СВЧ, поглощаемой в приемном преобразователе. Коэффициент эффективности характеризует преобразователь с точки зрения потерь в стенках отрезка передающей линии, потерь излучения, а также нежививалентности замещения мощности СВЧ мощностью постоянного тока или переменного тока низкой частоты непосредственно в чувствительном элементе. Пользуясь коэффициентом эффективности, результат измерения мощности можно записать в виде $P_{изм} = P_0/K_0$, где P_0 — показание отсчетного прибора; K_0 — коэффициент эффективности.

Время установления показаний ваттметра в зависимости от исполь-

зуемого в приборе преобразователя весьма различно. Наибольшим временем установления показаний обладают калориметрические ваттметры (до 3 мин), наименьшим временем — электронные.

Помимо отсчетного устройства, большинство ваттметров поглощаемой мощности имеют аналоговый выход сигнала, пропорционального измеряемой мощности с максимальным уровнем 1—10 В. Это позволяет подключить к выходу этих ваттметров самописец или типовые аналого-цифровые преобразователи, например Ф722/3, Ф722/4, и таким образом использовать ваттметры в составе автоматизированных измерительных систем с машинной обработкой информации.

Калориметрические ваттметры

Приборы, в которых используется калориметрический метод, делятся на две основные группы: с переменной температурой и постоянной. К каждой из групп могут быть отнесены как статические, так и проточные калориметры.

Основным уравнением, описывающим процессы в статическом калориметре с переменной температурой и высокой степенью тепловой изоляции рабочего тела, является

$$P_{СВЧ} = c_1^0 (d\theta/dt),$$

где c_1^0 — теплоемкость рабочего тела, Дж/°С; $d\theta/dt$ — скорость изменения температуры рабочего тела, град/с.

При малой тепловой изоляции в статических калориметрах измеряют приращение температуры рабочего тела в установившемся режиме, а измеряемую мощность подсчитывают по формуле

$$P_{СВЧ} = K\theta,$$

где K — коэффициент пропорциональности, определяемый экспериментальным путем и характеризующий процесс теплообмена; θ — разность меж-

ду температурой рабочего тела калориметра и окружающей среды.

В проточных калориметрах переменной температуры процесс измерения мощности сводится к измерению приращения температуры рабочего тела в установившемся режиме и расхода циркулирующей жидкости

$$P_{СВЧ} = c_1^0 (уд) q_k d_v \theta,$$

где $c_1^0 (уд)$ — удельная теплоемкость жидкости Дж/кг°С; q_k — расход жидкости, м³/с; d_v — плотность жидкости, кг/м³.

Чтобы уменьшить изменение показаний калориметрических ваттметров, обусловленное изменением теплоемкости в процессе нагрева системы, нагревом жидкости за счет трения, потерями теплоты на излучение, применяется калибровка приборов на постоянном токе или переменном токе низкой частоты.

В проточных калориметрах переменной температуры применяется либо метод замещения, либо метод сравнения. Эти методы позволяют исключить измерение расхода теплоносителя.

Сущность метода сравнения состоит в сравнении теплового воздействия СВЧ мощности, подаваемой на рабо-

чую нагрузку (преобразователь) R_1 , с тепловым воздействием известной мощности постоянного тока или переменного тока низкой частоты, подаваемой на опорную нагрузку (нагрузку сравнения) R_2 (рис. 3.2). Теплообменник обеспечивает равенство температур жидкости на выходе обеих на-

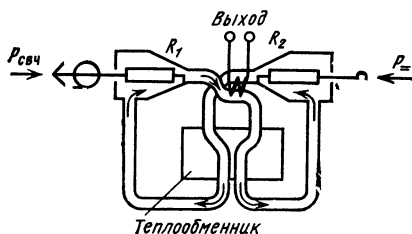


Рис. 3.2

грузок. Процесс измерения СВЧ мощности заключается в определении мощности, подаваемой на нагрузку сравнения, при равенстве теплового эффекта на обеих нагрузках. При этом не требуется измерять расход жидкости, перепад температур и знать удельную теплоемкость и плотность жидкости.

Работа калориметров с постоянной температурой основана на измерении количества рабочего вещества, перешедшего из одного фазового состояния в другое состояние за счет воздействия мощности, или на методе компенсации.

Компенсационные калориметры характеризуются тем, что в их калориметрической системе одновременно существуют два процесса, протекающие с одинаковой скоростью: выделение и поглощение теплоты. К этой группе относится прибор МЗ-25, у которого для компенсации положительного теплового эффекта используется явление Пельтье, т. е. поглощение теплоты «холодными» спаями термпар при прохождении через них постоянного тока. Прибор МЗ-25 в основном используется как образцовый для проверки и аттестации рабочих ваттметров и их преобразователей.

Калориметрические ваттметры позволяют измерять мощность синусоидальных колебаний и среднее значение мощности модулированных колебаний от единиц милливатт до нескольких киловатт в диапазоне частот от постоянного тока до 37,5 ГГц и до десятков милливатт в миллиметровом диапазоне.

Термисторные (болометрические) ваттметры

В основе болометрического метода лежит использование явления изменения сопротивления термочувствительного элемента при рассеянии на нем СВЧ мощности. Процесс измерения мощности СВЧ сводится к измерению мощности постоянного тока (переменного тока низкой частоты), эквивалентной по тепловому действию и замещающей собой измеряемую СВЧ мощность, рассеиваемую болометром (термистором).

В зависимости от типа применяемого преобразователя различают ваттметры термисторные и болометрические.

Основным узлом измерительного блока термисторных ваттметров является мост с ручной (приборы МЗ-1А, МЗ-10А) или автоматической установкой баланса (МЗ-22, МЗ-28). Ваттметры с автоматической установкой баланса моста, как правило, имеют два моста: рабочий и компенсационный и тем самым обеспечивают меньший дрейф нуля прибора при изменении температуры окружающей среды.

Термисторные ваттметры позволяют измерять мощность от единиц микроватт до 6 мВт в диапазоне частот от 20 МГц до 78,33 Гц.

Термоэлектрические ваттметры

Термоэлектрический метод заключается в измерении термо-э.д.с. дифференциальных термопар прямого или косвенного нагрева, возникающего в результате рассеяния в них СВЧ мощности.

Термопары одновременно выполняют функции согласованной нагрузки и дифференциального термометра.

Так как величина термо-э.д.с. пропорциональна подводимой СВЧ мощности

$$P_{\text{СВЧ}} = U_{\text{тэдс}} / K_{\text{прб}} (\text{СВЧ}),$$

где $U_{\text{тэдс}}$ — напряжение термо-э.д.с. на выходе термопары, мВ, $K_{\text{прб}}(\text{СВЧ})$ — коэффициент преобразования термопары, мВ/мВт, и практически не зависит от окружающей температуры, в термоэлектрических ваттметрах не содержится устройства температурной компенсации. Приемные преобразователи термоэлектрических ваттметров не требуют длительного времени прогрева и при высокой чувствительности могут работать непосредственно на стрелочный индикатор. Основным элементом приемного преобразователя является термопара (блок термопар).

В технике СВЧ применяют главным образом пленочные термопары, представляющие собой тонкие металлические пленки, нанесенные на слюдяные или стеклянные подложки методом напыления в вакууме. Исходными

материалами для пленочных покрытий являются пары висмут—сурьма, копель—сурьма, хромель—копель. Коэффициент преобразования пленочных термопар составляет около 1 мВ/мВт.

Чтобы обеспечить измерение малых уровней мощности, начиная с десятых долей микроватта, в измерительной схеме термоэлектрического ваттметра предусматривается усилитель постоянного тока. В качестве отсчетного устройства в ваттметрах применяют стрелочные приборы и цифровые индикаторы. Стрелочные приборы, несмотря на свою простоту и дешевизну, по сравнению с цифровыми индикаторами имеют следующие недостатки:

- неоднозначность отсчета из-за малой разрешающей способности шкалы,

- неповторяемость отсчета из-за трения в механической системе,

- повышенная чувствительность к вибрациям, что в некоторых случаях приводит к неустойчивости показаний прибора,

- сравнительно большое время установления показаний — порядка секунд и более,

- необходимость хорошей экранировки от внешних электромагнитных полей.

Цифровые индикаторы свободны от перечисленных недостатков. Однако они дороже и требуют источника питания.

Погрешность измерения мощности, отдаваемой источником сигнала в согласованную нагрузку

Известно, что наибольшая мощность отдается источником сигнала в нагрузку $Z_{\text{н}}$ только при условии сопряженного согласования, т. е. когда $Z_{\text{н}}$ является комплексно-сопряженной величиной $Z_{\text{г}}$ ($Z_{\text{н}} = Z_{\text{г}}^*$). При этом мощность источника сигнала можно опре-

делить из уравнения

$$P_{\text{max}} = \frac{U_{\text{г}}^2}{4R_{\text{г}}} = \frac{U_{\text{г}}^2}{4R_{\text{н}}},$$

где $U_{\text{г}}$ — напряжение СВЧ сигнала; $R_{\text{г}}$ — активная составляющая полного сопротивления источника сигнала; $R_{\text{н}}$ — активная составляющая полного сопротивления нагрузки.

Мощность, отдаваемая источником сигнала в любую нагрузку, присоединенную непосредственно к нему, составляет

$$P_H = P_{\max} \frac{(1 - |\Gamma_r|^2)(1 - |\Gamma_H|^2)}{|1 - \Gamma_r \Gamma_H|^2},$$

где Γ_r — коэффициент отражения источника сигнала; Γ_H — коэффициент отражения нагрузки.

Если вместо нагрузки подсоединен ваттметр поглощаемой мощности, то

$$P_B = P_{\max} \frac{(1 - |\Gamma_r|^2)(1 - |\Gamma_B|^2)}{|1 - \Gamma_r \Gamma_B|^2},$$

где Γ_B — коэффициент отражения ваттметра.

Мощность, отдаваемая источником сигнала в согласованную нагрузку Z_{01} , равна

$$P_{\text{сог}} = P_{\max} (1 - |\Gamma_r|^2)$$

Погрешность измерения мощности, отдаваемой источником сигнала в согласованную нагрузку, составляет

$$\delta = \frac{P_B - P_{\text{сог}}}{P_{\text{сог}}} = \frac{P_B}{P_{\text{сог}}} - 1.$$

Подставив значения P_B и $P_{\text{сог}}$, получим

$$\delta = \frac{1 - |\Gamma_B|^2}{|1 - \Gamma_r \Gamma_B|^2} - 1.$$

Максимальное значение погрешности

$$\begin{aligned} \delta_{\max} = & - \frac{|\Gamma_B|^2}{(1 \pm |\Gamma_r| |\Gamma_B|)^2} \pm \\ & \pm \frac{2|\Gamma_r| |\Gamma_B|}{(1 \pm |\Gamma_r| |\Gamma_B|)^2} - \\ & - \frac{|\Gamma_r|^2 |\Gamma_B|^2}{(1 \pm |\Gamma_r| |\Gamma_B|)^2}. \end{aligned}$$

При малых значениях Γ_r и Γ_B

$$\delta_{\max} = -|\Gamma_B|^2 \pm 2|\Gamma_r| |\Gamma_B|.$$

Первый член имеет постоянный знак и поэтому может быть учтен при измерениях. Второй член принято называть погрешностью рассогласования, которая численно может находиться в пределах от $+2|\Gamma_r| |\Gamma_B|$ до $-2 \times |\Gamma_r| |\Gamma_B|$:

$$\delta_{\text{рас max}} \approx \pm 2|\Gamma_r| |\Gamma_B|$$

или

$$\delta_{\text{рас max}} = \frac{1}{(1 \pm |\Gamma_r| |\Gamma_B|)^2} - 1.$$

В практике для расширения динамического диапазона ваттметра используют делители. В этом случае

$$P_{\text{изм}} = P_B K_{\text{дел}},$$

где P'_B — показание ваттметра с учетом коэффициента эффективности; $K_{\text{дел}}$ — коэффициент деления делителя в размах.

Внешний делитель увеличивает погрешность рассогласования. Максимальное ее значение при $K_{\text{дел}} > 10$ составит

$$\begin{aligned} \delta_{\text{р к max}} \approx & \pm 2|\Gamma_r| |\Gamma_{\text{вх}}| \pm \\ & \pm 2|\Gamma_B| |\Gamma_{\text{вых}}|, \end{aligned}$$

где $\Gamma_{\text{вх}}$ и $\Gamma_{\text{вых}}$ — коэффициенты отражения входа и выхода делителя соответственно.

При измерении падающей мощности ваттметрами поглощаемой мощности в сочетании с направленными ответвителями и при $K_{\text{пер}} < 0,1$ погрешность рассогласования равна

$$\begin{aligned} \delta_{\text{р к max}} \approx & \pm 2|\Gamma_H| |\Gamma_{\text{эф}}| \pm \\ & \pm 2|\Gamma_B| |\Gamma_2|, \end{aligned}$$

где Γ_H — коэффициент отражения нагрузки, включаемой на выходе основного канала направленного ответвителя; $\Gamma_{\text{эф}}$ — эффективный коэффициент отражения направленного ответвителя, Γ_2 — коэффициент отражения выхода вторичного канала направленного ответвителя.

Величина погрешности рассогласования может быть весьма существенна, поэтому при оценке погрешности

измерения мощности источника ее необходимо учитывать. Для уменьшения погрешности рассогласования можно применять согласующие устройства. В этом случае необходимо учитывать потери, вносимые согласующим устройством.

Для обеспечения единства измерений все ваттметры и установки для измерения СВЧ мощности поверяются по общесоюзным поверочным схемам ГОСТ 8.059—73, ГОСТ 8.074—73 пу-

тем непосредственного сличения с образцовыми средствами. Первичным в поверочной схеме является Государственный эталон мощности СВЧ. При отсутствии образцовых средств, позволяющих осуществить непосредственное сличение, производится поэлементная поверка: измерительная схема ваттметра поверяется на постоянном токе или переменном токе низкой частоты, а приемный преобразователь — на СВЧ.

Некоторые примеры применения ваттметров СВЧ

Кроме основного своего назначения — непосредственное измерение мощности на выходе источника СВЧ сигнала, ваттметры СВЧ успешно применяются для следующих целей.

Измерение интенсивности излучения. Измерение интенсивности излучения, например, при медико-биологических исследованиях может осуществляться как с помощью специальных приборов, например ПЗ-9, так и с помощью ваттметров на малый уровень мощности в сочетании с измерительными антеннами (рис. 3.3).

Интенсивность излучения в мкВт/см² определяется из выражения

$$P_{\text{изл}} = P_{\text{изм}}/S,$$

где $P_{\text{изм}}$ — результат измерения мощности ваттметром СВЧ при orienta-

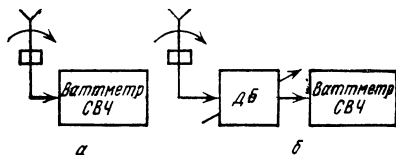


Рис. 3.3

ции антенны на максимум излучения, мкВт; S — действующая площадь антенны, см².

В тех случаях, когда между антенной и ваттметром СВЧ включается аттенуатор (рис. 3.3, б) формула несколько усложняется и принимает вид

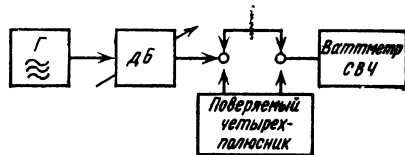


Рис. 3.4

ваттметр (рис. 3.4). Потери в четырехполоснике определяются по формуле

$$A = 10 \lg (P_{\text{вх}}/P_{\text{вых}}), \text{ дБ}$$

где $P_{\text{вх}}$, $P_{\text{вых}}$ — показание ваттметра до и после включения в тракт проверяемого четырехполосника соответственно.

Максимальное значение погрешности определения потерь составляет

$$\delta_A = \pm (1,41\delta_B + \gamma\delta_{\text{рас}}).$$

где δ_B — погрешность ваттметра; $\delta_{\text{рас}}$ — погрешность рассогласования, равная

$$\delta_{\text{рас}} = \pm 2|\Gamma_B||\Gamma_P| \pm 2|\Gamma_{\text{вх}}||\Gamma_P| \pm 2|\Gamma_{\text{вых}}||\Gamma_B| \pm 2|K|^2|\Gamma_B||\Gamma_P|.$$

Если $|K|^2 < 0,1$ (более 10 дБ), то

$$\delta_{\text{рас}} = \pm 2|\Gamma_B||\Gamma_P| \pm 2|\Gamma_{\text{вх}}||\Gamma_P| \pm 2|\Gamma_{\text{вых}}||\Gamma_B|,$$

где Γ_P — коэффициент отражения развязывающего аттенуатора; γ — весовой коэффициент, зависящий от отношения $3\delta_{\text{рас}}/\sqrt{2}\delta_B$ (табл. 3.1).

ваттметров класса 6 составит не более 1 дБ.

При наличии калиброванных направленных ответвителей коэффициент усиления можно измерить, воспользовавшись структурной схемой рис. 3.5. В этом случае

$$K_Y = 10 \lg (P_{\text{вых}}/P'_{\text{вх}}),$$

причем

$$P'_{\text{вх}} = P_2/A(1 - |\Gamma_Y|^2),$$

где P_2 — результат измерения мощности во вторичном канале ответвителя; A — переходное ослабление направленного ответвителя в размах; $|\Gamma_Y|$ — модуль коэффициента отражения на входе усилителя.

Определение коэффициента отражения. Одним из способов определения

Таблица 3.1

$3\delta_{\text{рас}}/\sqrt{2}\delta_B$	0	1	2	4	6	8	10	15	20	∞
γ	0	0,25	0,49	0,66	0,76	0,82	0,85	0,89	0,91	0,98

Если измеряемые потери порядка 10 дБ и коэффициент отражения входа и выхода проверяемого ослабителя не более 0,2 ($K_{\text{ст}} < 1,5$), то при использовании ваттметра класса точности 6 и развязывающего ослабителя с коэффициентом отражения на выходе не более 0,13 ($K_{\text{ст}} < 1,3$), максимальное значение погрешности определения ослабления будет менее 1 дБ.

Определение коэффициента усиления усилителя мощности. Коэффициент усиления усилителя мощности может проверяться по структурной схеме на рис. 3.4, в которой усилитель включается в качестве четырехполюсника. Величина коэффициента усиления определяется по формуле

$$K_Y = 10 \lg (P_{\text{вых}}/P_{\text{вх}}).$$

Максимальное значение погрешности измерения при использовании

проходящей мощности является измерение падающей и отраженной мощности (рис. 3.6) с последующим вы-

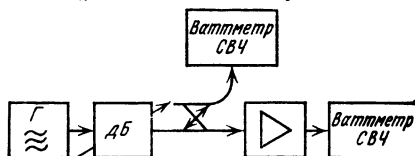


Рис. 3.5

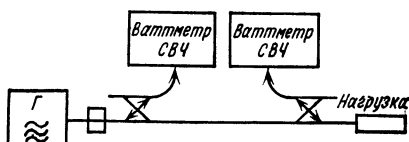


Рис. 3.6

числением по формуле $P_{\text{прох}} = P_{\text{пад}} - P_{\text{отр}}$.

Ваттметры, в основу работы которых положен указанный способ, можно успешно использовать для определения коэффициента отражения или коэффициента стоячей волны нагрузки по формулам

$$|\Gamma| = \sqrt{P_{\text{отр}}/P_{\text{пад}}},$$

$$K_{\text{стВ}} = \frac{1 + \sqrt{P_{\text{отр}}/P_{\text{пад}}}}{1 - \sqrt{P_{\text{отр}}/P_{\text{пад}}}}.$$

Проверка ваттметров более низкого класса точности. Общесоюзная поверочная схема для средств измерения СВЧ мощности предусматривает поверку основной погрешности ваттметров с помощью образцовых ваттметров. Ваттметры проходящей мощности удобнее проверять с помощью образцовых ваттметров поглощаемой мощности (рис. 3.7), а ваттметры поглощаемой



Рис. 3.7

мощности по образцовым ваттметрам проходящей мощности (рис. 3.8), хотя не исключаются и другие сочетания.

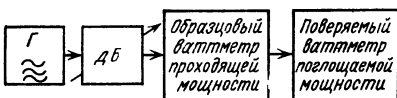


Рис. 3.8

Погрешность проверяемого ваттметра проходящей мощности при сличении его показаний с показаниями образцового ваттметра поглощаемой мощности (рис. 3.7) составит

$$\delta = (1 - P_{\text{ОВ}}/P) 100 \%,$$

где P — результат измерения проверяемым ваттметром с учетом поправочных множителей в соответствии с инструкцией по его эксплуатации; $P_{\text{ОВ}}$ — действительное значение мощности, измеренное образцовым ваттметром поглощаемой мощности.

Погрешность поверяемого ваттметра поглощаемой мощности при сличении его показаний с показаниями образцового ваттметра проходящей мощности (рис. 3.8) составит

$$\delta = (P/P'_{\text{ОВ}} - 1) 100 \%,$$

где $P'_{\text{ОВ}}$ — действительное значение мощности, измеренное образцовым ваттметром проходящей мощности.

Образцовые ваттметры, как правило, должны иметь погрешность, в три и более раз меньшую, чем погрешность испытываемого прибора.

Проверка частотной характеристики стробоскопических осциллографов и анализаторов спектра. Современные стробоскопические осциллографы обладают очень широкой рабочей полосой и позволяют наблюдать очень короткие радиоимпульсы. Для воспроизведения импульсов без искажений необходимо, чтобы частотная характеристика осциллографа была плоской в его рабочей полосе частот.

Проверка частотной характеристики стробоскопических осциллографов может осуществляться с помощью ваттметров СВЧ по структурной схеме на рис. 3.9.

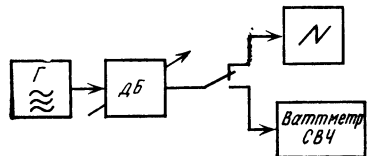


Рис. 3.9

Частотная характеристика $P_f/P_{\text{min}} = F(f)$ строится на основе измеренных значений P_f и P_{min} при неизменных показаниях осциллографа, причем P_f — мощность, измеренная на входе осциллографа на проверяемой частоте, P_{min} — мощность, измеренная на

входе осциллографа на самой низкой частоте.

Аналогичным образом проверяется частотная характеристика анализаторов спектра.

Максимальное значение погрешности определения частотной характеристики составит

$$\delta = \pm (1,41\delta_{\text{в}} + \gamma\delta_{\text{рас}}),$$

$$\text{где } \delta_{\text{рас}} = \pm 2 (|\Gamma_{\text{в}}| |\Gamma_{\text{р}}| + |\Gamma_{\text{о}}| |\Gamma_{\text{р}}|),$$

$\Gamma_{\text{о}}$ — коэффициент отражения осциллографа; $\Gamma_{\text{р}}$ — коэффициент отражения развязывающего аттенюатора; $\Gamma_{\text{в}}$ — коэффициент отражения ваттметра.

Если применить ваттметр класса 6, то при $\Gamma_{\text{р}} = \Gamma_{\text{в}} = 0,2$; $\Gamma_{\text{о}} = 0,33$

$$\delta_{\text{рас}} = 2 \cdot 0,2 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,33 \cdot 0,2 = 0,21 \text{ или } 21 \, \%.$$

Максимальная погрешность определения частотной характеристики в этом случае около $\pm 30\%$.

Измерение частоты сигнала. Ваттметры поглощаемой мощности, использующие ферритовые элементы, наряду с основным своим назначением могут применяться для оценки частоты СВЧ сигнала. При этом не требуются дополнительные специальные преобразователи. Достаточно, чтобы шкала узла, посредством которого изменяется ток намагничивания и таким образом достигается состояние ферромагнитного резонанса ферритового элемента, была предварительно проградуирована в единицах частоты.

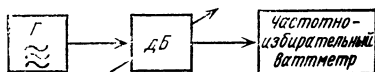


Рис. 3.10

Анализ спектра сигнала. Анализ спектра сигнала обычно производится с помощью специальных приборов — анализаторов спектра. Однако

не представляет больших затруднений использовать для этих целей частотно-избирательные ваттметры с ферритовыми приемными преобразователями.

Структурная схема для проведения измерений приведена на рис. 3.10. Перестраивая приемный преобразователь по частоте, ваттметром измеряют мощность каждой из составляющих исследуемого сигнала. Для того чтобы в процессе перестройки приемного преобразователя не было заметной реакции на генератор, развязывающий аттенюатор должен обладать достаточным (не менее 20 дБ) и постоянным ослаблением в полосе исследуемых частот.

Используя результаты измерений, определяют коэффициент гармоник $K_{\text{г}}$, характеризующий искажение сигнала:

$$K_{\text{г}} = \sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} P_i / P_1},$$

где P_i — мощность сигнала i -й составляющей; P_1 — мощность сигнала основной составляющей.

Особенностью измерения коэффициента гармоник $K_{\text{г}}$ СВЧ сигнала с помощью частотно-избирательных ваттметров является простота и надежность, а также отсутствие преобразователя частоты исследуемого сигнала, как это имеет место в специальных приборах — анализаторах спектра.

По точности измерения коэффициента гармоник частотно-избирательные ваттметры почти не уступают анализаторам спектра.

Измерение разности температур с помощью термоэлектрических ваттметров. Термоэлектрические ваттметры представляют собой сочетание термоэлектрических СВЧ преобразователей и микровольтметров постоянного тока, шкалы которых отградуированы в единицах мощности. Если вместо термоэлектрического преобразователя к прибору подключить обычную термопару, то при известном для нее коэффициенте преобразования $S_{\text{т}}$, мкВ/град, можно отградуировать шкалу микровольтметра в градусах и в дальнейшем прибор использовать для

измерения разности температур Δt . При этом максимальная и минимальная разность измеряемых температур будет определяться динамическим диапазоном микровольтметра и коэффициентом преобразования термопары S_t .

$$\Delta t = U / S_t.$$

Так, например, используя микровольтметровую часть прибора МЗ-21, отрегулированную на пределы

10 мкВ—10 мВ, и термопару никель—сплав (Cr+Ni) с коэффициентом $S_t = 40$ мВ/град, можно измерять разность температур в диапазоне

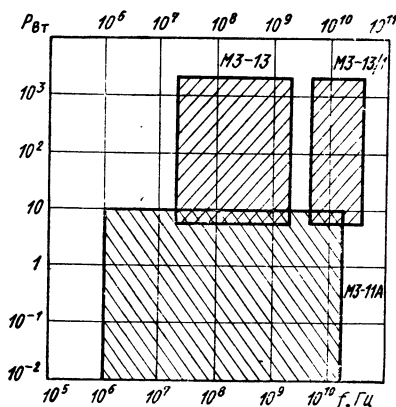
$$\text{от } \Delta t_{\min}^0 = \frac{10 \cdot 10^{-6}}{40 \cdot 10^{-6}} = 0,25 \text{ град}$$

$$\text{до } \Delta t_{\max}^0 = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{40 \cdot 10^{-6}} = 250 \text{ град.}$$

3.2. Ваттметры поглощаемой мощности калориметрические

Калориметрические ваттметры в основном применяются для измерения средних и больших уровней мощности и в качестве образцовых средств для поверки рабочих приборов. Диапазон частот и пределы измерений приборов, описываемых далее, приведены на рис. 3.11.

Рис. 3.11



Ваттметр поглощаемой мощности калориметрический МЗ-11А

Прибор (рис. 3.12) предназначен для измерения среднего уровня мощности синусоидальных СВЧ сигналов и среднего значения мощности амплитудно-импульсно-модулированных СВЧ сигналов среднего уровня в коаксиальных трактах.

Основные технические характеристики

Диапазон измеряемых мощностей 10 мВт—10 Вт на пределах 0,01—0,03—0,1—0,3—1—10 Вт

Максимальная допустимая импульсная мощность 6 кВт при средней мощности не более 10 Вт

Основная погрешность прибора $\pm \left(5,8 + \frac{6 \cdot 10^{-2}}{P_x} \right) \%$, где P_x — показание прибора, Вт

Диапазон рабочих частот 1 МГц—11,5 ГГц

Волновое сопротивление 50 Ом

Сечение коаксиального тракта $10 \times 4,34$ мм

Диапазон частот, МГц	КСВ входа не более
150—1000	1,25
1000—5000	1,4
5000—10000	1,5
10000—11500	1,6

Время установления показаний не более 25 с

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В

Потребляемая мощность 200 ВА

Условия эксплуатации: температура от $+10$ до $+35^\circ\text{C}$, относительная влажность воздуха до 80% при $+20^\circ\text{C}$

Габаритные размеры

500×450×340 мм

Масса прибора не более 29 кг

ного тока, рассеиваемой в так называемой нагрузке сравнения. В приборе применена балансная схема калориметра с замкнутым движением жидкости (рис. 3.13). На входе прибора включено согласованное нагрузочное сопротивление, выполненное на базе поверхностного трубчатого резистора МОУ-1 на 50 Ом (R_1), которое омывается кремнийорганической жидкостью ПМС-1.

В непосредственной близости к поверхностному сопротивлению в калориметрическом канале прибора установлен терморезистор R_2 , образующий вместе с аналогичным ему резистором R_3 симметричные плечи измерительного моста, работающего на звуковой частоте. Резисторы R_2 и R_3 расположены в калориметрическом канале в непосредственной близости к резистору рабочей нагрузки R_1 и резистору нагрузки сравнения R_4 , габаритные размеры которого и конструктивное оформление аналогичны R_1 .

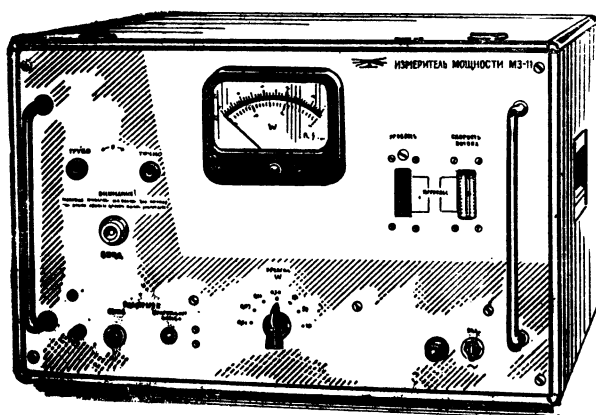


Рис. 3.12

Прибор относится к группе калориметрических ваттметров переменной температуры.

В основу работы ваттметра положен принцип сравнения измеряемой СВЧ мощности, рассеиваемой в измерительной калориметрической нагрузке, с известной мощностью постоян-

При отсутствии на входе СВЧ мощности терморезисторы R_2 и R_3 , омываемые потоком кремнийорганической жидкости, находятся при одинаковой температуре, поэтому поддерживается состояние баланса моста. С подачей на вход измеряемой мощности происходит разбаланс моста из-за на-

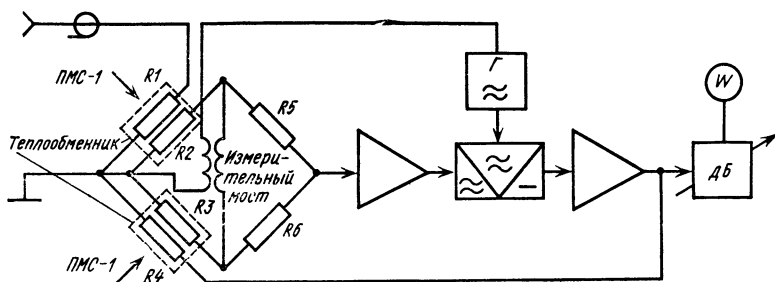


Рис. 3.13

грева терморезистора R_2 и в диагонали моста образуется сигнал разбаланса. Этот сигнал поступает на усилитель переменного тока, а затем на фазовый детектор и усилитель постоянного тока. Усиленный сигнал разбаланса попадает на нагрузку сравнения R_4 , при этом нагревается жидкость и омываемый ею терморезистор R_3 , вследствие чего почти восстанавливается полный баланс измерительного моста.

Напряжение на R_4 , пропорционально измеряемой мощности, регистрируется стрелочным индикатором. С помощью аттенюатора производится изменение сигнала, поступающего на

стрелочный индикатор, при разных пределах измерений.

Благодаря малой постоянной времени установления показаний (порядка 5 с) ваттметр незаменим при настройке и регулировке источников СВЧ мощности с выходным уровнем 10 мВт — 10 Вт.

В комплект прибора входят два высокочастотных трансформатора Э1-22А, Э1-22Б и один переход, обеспечивающие возможность измерения мощности в трактах 75 Ом ($\varnothing 16 \times 4,6$) и 50 Ом ($\varnothing 7 \times 3$).

Прибор используется при регулировке и проверке измерительных генераторов и менее точных ваттметров.

Ваттметр поглощаемой мощности калориметрический МЗ-13

Прибор (рис. 3.14) предназначен для измерения мощности синусоидальных СВЧ сигналов и среднего значения мощности модулированных СВЧ сигналов большого уровня в коаксиальных трактах с волновым сопротивлением 75 Ом.

Основные технические характеристики

Диапазоны измеряемых мощностей: мощности синусоидальных колебаний 2—2000 Вт на пределах 6—20—60—200—600—1200—2000 Вт,

среднего значения мощности импульсно-модулированных колебаний 6—100 Вт при импульсной мощности

не более 100 кВт и длительности импульсов не более 4 мкс и 6—400 Вт при импульсной мощности не более 40 кВт и длительности импульсов от 4 мкс до 0,4 мс.

Основная погрешность прибора не более:

$\pm (4 + 3A/P) \%$ на пределах 60 Вт и выше,

$\pm (4 + 4A/P) \%$ на пределе 20 Вт,

где A — конечное значение рабочей шкалы, P — показание прибора

Диапазон рабочих частот 30—1600 МГц

Волновое сопротивление 75 Ом

Сечение тракта $30 \times 8,6$ мм

$K_{ст.у}$ прибора не более 1,3

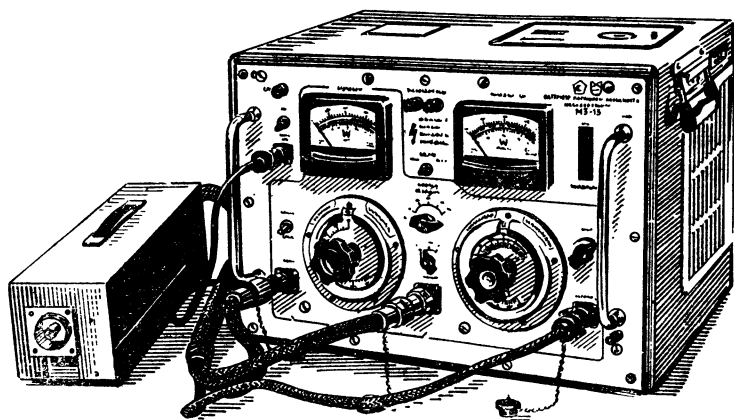


Рис. 3.14

Уровень излучения СВЧ мощности не должен превышать 10 мкВт/см^2 на расстоянии 1 м от нагрузки

Время установления показаний не более 2 мин

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5 \text{ Гц}$, напряжением $127/220 \text{ В} \pm 10\%$

Потребляемая мощность 1200 ВА

Условия эксплуатации: температура от $+5$ до $+40^\circ \text{C}$, относительная влажность до 95% при $+30^\circ \text{C}$

Габаритные размеры:

измерительного блока $690 \times 430 \times 395 \text{ мм}$,

калориметрической нагрузки $611 \times 195 \times 142 \text{ мм}$

Масса:

измерительного блока 53 кг

калориметрической нагрузки 8 кг

Ваттметр (рис. 3.15) состоит из калориметрической нагрузки А и измерительного прибора Б, соединенных между собой гибким шлангом. Нагрузка представляет собой поверхностный резистор МОУ, заключенный в согласующий экран. Наружная и внутренняя поверхности резистора омываются водой. В подводящем и отводящем водяных каналах нагрузки установлены калибровочная спираль и батарея термопар. Вода подается в нагрузку из системы водоснабжения, состоящей из центробежного насоса, регулятора расхода воды и радиато-

ра, охлаждаемого потоками воздуха от вентилятора. Вентилятор и насос приводятся в действие электродвигателем. Кроме системы водоснабжения, в измерительный блок входят устройства калибровки и индикации СВЧ мощности, а также блок питания.

Перед началом измерений прибор калибруется на переменном токе частотой 50 Гц путем подачи соответствующей мощности на калибровочную спираль, которая нагревает воду, протекающую через нагрузку по замкнутой системе водоснабжения. Разность температур воды на входе и выходе нагрузки индицируется батареей термопар. Напряжение термо-э.д.с. пропорционально мощности, поданной на калибровочную спираль. Регулируя чувствительность отсчетного прибора, его показания приводят в соответствие с калибровочной мощностью. Далее калибровочная мощность отключается и на вход калориметрической нагрузки подается мощность СВЧ. Превращенная в тепло, она нагревает воду, омывающую поверхностное сопротивление. Возникающее при этом напряжение термо-э.д.с., пропорциональное измеряемой СВЧ мощности, индицируется отсчетным прибором. Таким образом, в ваттметре используется метод сравнения измеряемой СВЧ мощности с эквивалентной ей по тепловому действию мощностью низкой частоты.

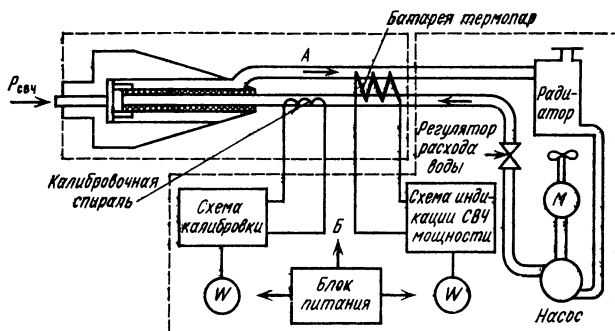


Рис. 3.15

При измерении мощности от 6 до 60 Вт к клеммам микроамперметра на передней панели измерительного блока подключается внешний индикатор М95. На остальных пределах отсчет мощности производится по внутреннему индикатору.

Прибор отличается высокой надежностью, может работать длительное время без проверки отдельных узлов и прибора в целом. При эксплуатации

необходимо пользоваться дистиллированной водой, которую следует менять не реже одного раза в месяц.

В состав комплекта входят: нагрузка калориметрическая, набор коаксиальных переходов, низкочастотный соединитель, микроамперметр М95, резистор МОУ-25 Вт-А-75-1.

Прибор используется при испытаниях и настройке передающих устройств большой мощности.

Ваттметр поглощаемой мощности калориметрический МЗ-13/1

Прибор (рис. 3.16) предназначен для измерения мощности синусоидальных СВЧ сигналов и среднего значения мощности модулированных СВЧ сигналов большого уровня в волноводных трактах.

Основные технические характеристики

Диапазоны измеряемых мощностей: мощности синусоидальных колебаний 6—2000 Вт на пределах 6—20—60—200—600—1200—2000 Вт, среднего значения мощности импульсно-модулированных колебаний 6—1000 Вт при импульсной мощности до 1 мВт в зависимости от волноводного тракта и длительности импульсов.

Основная погрешность прибора не более:

$\pm(4+3A/P)\%$ на пределах 60 Вт и более,
 $\pm(4+4A/P)\%$ на пределе 20 Вт,
 где A — конечное значение рабочей части шкалы; P — показание прибора.
 Диапазон рабочих частот 2,59—37,5 ГГц

Диапазон частот, ГГц	K_{CTU} не более
2,59—16,65	1,2
16,65—25,86	1,35
25,86—37,5	1,5

Уровень излучения СВЧ мощности не должен превышать 10 мкВт/см² на расстоянии 1 м от нагрузки

Время установления показаний не более 1 мин

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В

Потребляемая мощность 1200 ВА

Условия эксплуатации: температура от $+5$ до $+40^\circ\text{C}$, относительная влажность до 95% при $+30^\circ\text{C}$

Габаритные размеры:

измерительного блока $660 \times 420 \times 390$ мм,
волноводной нагрузки $470 \times 170 \times 140$ мм

Масса:

измерительного блока 53 кг,
волноводной нагрузки 9 кг

МЗ-13, в одном футляре с нагрузкой монтируются калибровочная спираль и блок дифференциальных термодатчиков для измерения разности температуры входящей воды и температуры выходящей воды.

Калибровка прибора МЗ-13/1 и измерение СВЧ мощности производится в той же последовательности, что и в приборе МЗ-13.

Прибор комплектуется волноводными переходами, благодаря чему одна калориметрическая нагрузка обеспечивает измерение мощности в диапазоне волноводов: $7,2 \times 3,4$; $11 \times 5,5$; 17×8 ; 23×10 ; $28,5 \times 12,6$; 35×15 ; 48×24 ; 58×25 ; 72×34 мм.

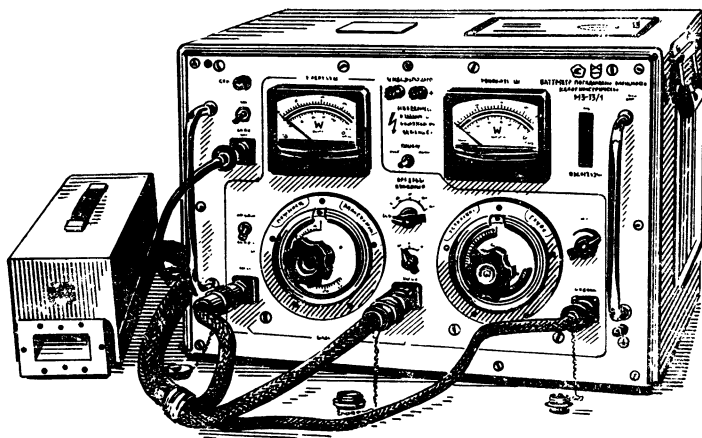


Рис. 3.16

Структурная и функциональная схемы прибора МЗ-13/1 такие же, как прибора МЗ-13. Они отличаются только конструкцией калориметрической нагрузки. Волноводная калориметрическая нагрузка состоит из отрезка волновода сечением 72×34 мм с размещенной вдоль него наклонной стеклянной трубкой, через которую протекает вода. Как и в приборе

В состав комплекта входят: нагрузка калориметрическая и набор волноводных переходов: $58 \times 25/72 \times 34$, $48 \times 24/72 \times 34$, $35 \times 15/72 \times 34$, $28,5 \times 12,6/72 \times 34$, $23 \times 10/72 \times 34$, $17 \times 8/72 \times 34$, $7,2 \times 3,4/72 \times 34$ мм.

Прибор используется при испытаниях и настройке передающих устройств большого уровня мощности. Он заменяет ваттметр МЗ-4.

3.3. Ваттметры поглощаемой мощности термисторные

Термисторные ваттметры используются для измерения малых уровней мощности. Измерительная схема (мост) ваттметра МЗ-22 применяется

также для комплектации образцовых установок, предназначенных для проверки рабочих ваттметров.

Параметр	МЗ-1А	МЗ-10А	МЗ-28	МЗ-22
Пределы измерения, Вт	10^{-4} —1	$(50-5000) \cdot 10^{-6}$ $(5-500) \cdot 10^{-8}$	10^{-4} —1	$(12-6000) \cdot 10^{-6}$
Класс точности	10—15	10—15—25	10	4—6—10—15
Диапазон частот, ГГц	0,02—3,0	0,03—78,3 0,03—5,64	0,02—5,5	0,15—78,3

Ваттметр поглощаемой мощности термисторный МЗ-1А

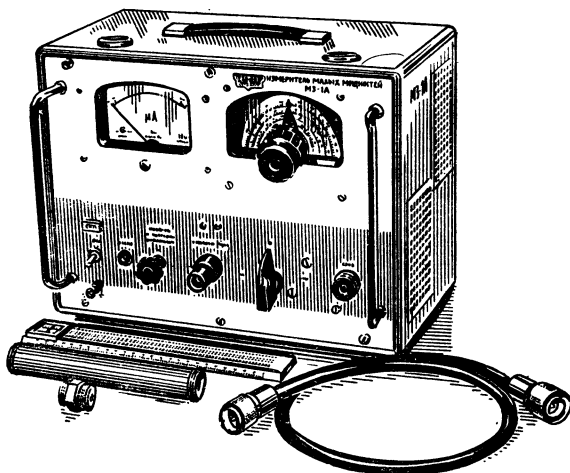


Рис. 3.17

Прибор (рис. 3.17) предназначен для измерения мощности синусоидальных СВЧ сигналов и среднего значения мощности импульсно-модулированных СВЧ сигналов малого и среднего уровня в коаксиальных трактах с волновым сопротивлением 75 Ом.

Основные технические характеристики

Диапазон измеряемых мощностей:

0,1—10 мВт,

10 мВт — 1 Вт с внутренним делителем

Погрешность прибора не более

±10% в пределах 1—10 мВт,

±12% в пределах 0,1—1 мВт и свыше 10 мВт

Диапазон рабочих частот 20—8000 МГц

Волновое сопротивление 75 Ом

$K_{от\ U}$ на входе прибора:

при подключении к измерительной линии непосредственно или через придаваемый кабель не более 1,3 в диапазоне 20—1000 МГц, 1,5 в диапазоне частот 1000—3000 МГц при измерении мощности до 10 мВт и 1,4 во всем диапазоне частот при измерении мощности свыше 10 мВт

при подключенной к 50-омной линии через придаваемый согласующий трансформатор и 75-омный кабель не более 1,7 на частотах 1000—3000 МГц

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В или частотой $400 \pm \frac{28}{12}$ Гц и напряжением 115 (220) В $\pm 5\%$

Потребляемая мощность 50 ВА

Условия эксплуатации: температура от -30°C до $+50^\circ\text{C}$, относительная влажность до 98% при $+35^\circ\text{C}$

Габаритные размеры

386×300×240 мм

Масса 14 кг

Работа ваттметра МЗ-1А (рис. 3.18) основана на болометрическом методе измерения СВЧ мощности. В качестве приемного преобразователя в приборе используется термисторная головка (преобразователь). В ней происходит преобразование мощности СВЧ в теплоту. Конструкция и электрическая

схема приемного преобразователя обеспечивают независимое включение термистора в следующие цепи:

- в тракт СВЧ в виде согласованной конечной нагрузки,
- в мост постоянного тока в виде сопротивления одного из плеч,
- в цепь переменного тока низкой частоты.

Перед началом измерений мост балансируется. В момент баланса термистор рассеивает вполне определенную величину мощности постоянного тока и некоторую мощность переменного тока низкой частоты. Величина мощности переменного тока регулируется вручную в таких пределах, чтобы обеспечивалась возможность уравнивания моста при любой рабочей температуре, старении и смене термистора.

При подведении СВЧ мощности к приемному преобразователю термистор изменяет свое сопротивление и состояние баланса моста нарушается. Для восстановления баланса калиброванным микропотенциометром отсчетного устройства, шунтирующим мост, уменьшают мощность постоянного тока, рассеиваемую в термисторе. Отсчетное устройство индицирует величину изменения мощности постоянного тока (замещающую мощность), приблизительно равную измеряемой мощности СВЧ. С ростом частоты величина замещающей мощности все более отличается от мощности СВЧ, рас-

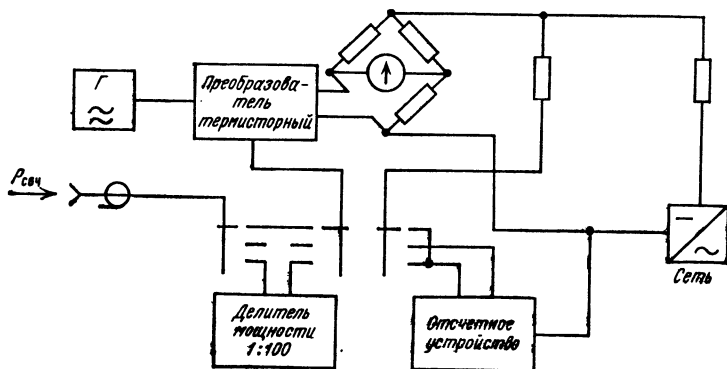


Рис. 3.18

сеиваемой в преобразователе. Неэквивалентность замещения учитывается путем деления показаний прибора на коэффициент эффективности, который приводится в эксплуатационной документации в виде таблицы или графика.

Ваттметр имеет два предела измерений: 10 мВт и 1 Вт. На пределе 1 Вт включается внутренний делитель 1 : 100 поворотом ручки комбинированного переключателя в положение 100. На пределе 10 мВт переключатель устанавливается в положение 1.

Прибор может применяться для индикации СВЧ мощности до 2 мВт по схеме неуравновешенного моста. При этом отсчет мощности ведется по шка-

ле микроамперметра, включенного в диагональ моста.

Ваттметр прост в обращении, позволяет производить контроль делителя мощности на любой из частот рабочего диапазона и контроль начальной установки баланса моста.

В комплект прибора входят коаксиальный переход и трансформатор согласующий высокочастотный 75—50 Ом (16×4,6—16×6,96 мм), что дает возможность использовать прибор для измерений мощности в 50-омном тракте в диапазоне частот 1000—3000 МГц.

Ваттметр МЗ-1А используется при регулировке и поверке источников СВЧ мощности.

Ваттметр поглощаемой мощности термисторный МЗ-10А

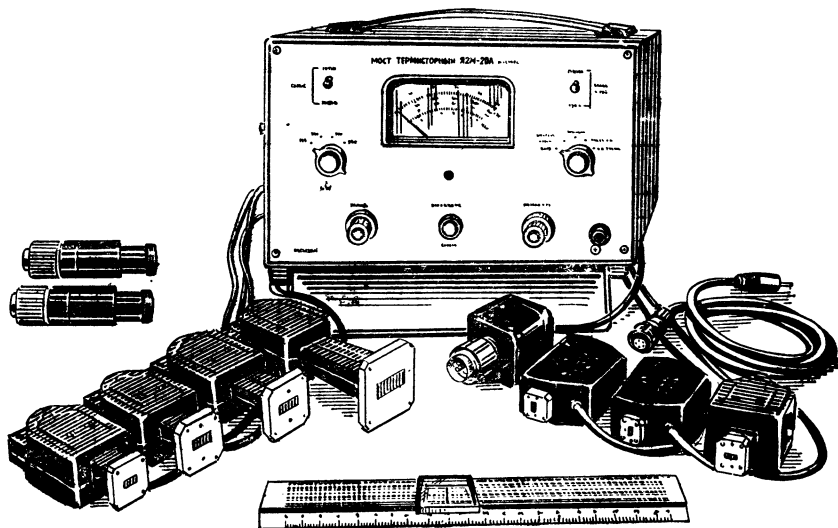


Рис. 3.19

Прибор (рис. 3.19) предназначен для измерения мощности синусоидальных СВЧ сигналов и среднего значения мощности импульсно-модулированных СВЧ сигналов малого и среднего уровня в коаксиальных и волноводных трактах.

Основные технические характеристики

Диапазон измеряемых мощностей:
50—5000 мкВт на пределах 150—500—1500—5000 мкВт во всем рабочем диапазоне частот без внешнего делителя,

Гл. 3. Приборы для измерения мощности

Диапазон частот, ГГц, при использовании преобразователей		Погрешность измерения, %
коаксиальных	волноводных	
0,03—7,5	5,64—37,5	$\pm (6 + \frac{A}{P_x} \cdot 100)$
0,03—5,64 (с внешним делителем)	37,5—53,6 (на пределах 500, 1500, 5000 мкВт)	$\pm (10 + \frac{A}{P_x} \cdot 100)$
7,5—12	37,5—53,6 (на пределе 150 мкВт) 53,6—78,3	$\pm (10 + \frac{B}{P_x} \cdot 100)$

Здесь $A = 4,5 + \frac{P_K}{100}$ мкВт; $B = 15 + \frac{P_K}{100}$ мкВт; P_K — конечное значение установленного предела измерений, мкВт; P_x — показание ваттметра, мкВт.

Тип термисторного преобразователя	Диапазон частот, ГГц	Сечение ВЧ тракта, мм	Волновое сопротивление, Ом	$K_{стU}$	Коэффициент эффективности не менее	Рабочее сопротивление, Ом
M5-88	0,03—2,5	$\varnothing 16 \times 6,96$	50	1,4	0,9	150
	2,5—4,0	$\varnothing 16 \times 6,96$	50	1,4	0,8	150
	4,0—7,5	$\varnothing 16 \times 6,96$	50	1,5	0,8	150
M5-89	0,1—4,0	$\varnothing 7 \times 3$	50	1,4	0,8	150
	4,0—7,5	$\varnothing 7 \times 3$	50	1,5	0,8	150
	7,5—10,0	$\varnothing 7 \times 3$	50	1,5	0,7	240
	10—12	$\varnothing 7 \times 3$	50	1,7	0,7	240
M5-40	5,64—8,24	35×15		1,4	$1 \pm 0,05$	240
M5-42	8,24—12,05	23×10		1,3	$1 \pm 0,05$	240
M5-43	11,95—16,7	17×8		1,3	$1 \pm 0,05$	240
M5-44	16,7—25; 86	$11 \times 5,5$		1,5	$0,95—1,05$	400
M5-45	25,86—37,5	$7,2 \times 3,4$		1,5	$0,85—1,05$	400
M5-49	37,5—53,6	$5,2 \times 2,6$		1,7	0,5	400
M5-50	53,6—78,3	$3,6 \times 1,8$		2,0	0,5	400

Аттенуатор резистивный	Диапазон рабочих частот, ГГц	Ослабление, дБ	$K_{стU}$ входа и выхода	Сечение ВЧ тракта, мм
10 дБ	0,03—2,3 2,3—5,64	9—14	1,3 1,5	$\varnothing 16 \times 6,96$
20 дБ	0,03—2,3 2,3—5,64	18—22	1,3 1,5	$\varnothing 16 \times 6,96$

до 500 мВт при использовании коаксиальных аттенуаторов в диапазоне частот 0,03—5,64 ГГц.

Нестабильность показаний ваттметра во времени в установившемся тепловом режиме не более 7,5 мкВт/мин.

Время прогрева прибора после включения не более 30 мин.

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В или частотой $400 \pm \frac{2}{12}$ Гц, напряжением 115/220 В $\pm 5\%$.

Потребляемая мощность не более 20 ВА.

Условия эксплуатации: температура от -30 до $+50^\circ\text{C}$, относительная влажность до $98\% + 35^\circ\text{C}$.

Габаритные размеры термисторного моста (измерительного блока) $300 \times 205 \times 250$ мм.

Масса ваттметра в полном комплекте не более 11 кг.

Примечание. По требованию заказчика ваттметр может комплектоваться преобразователями как на весь диапазон частот, так и на любые его участки.

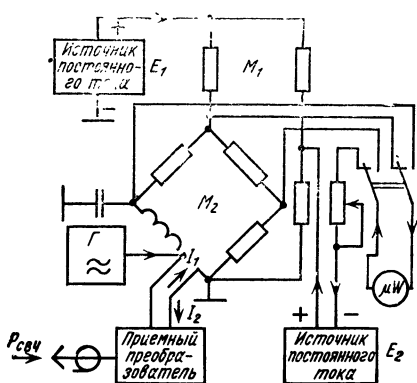


Рис. 3.20

Ваттметр (рис. 3.20) состоит из измерительного блока (моста Я2М-20А) и одного или нескольких приемных преобразователей.

Основой измерительного блока является двойной термисторный мост с ручной установкой баланса. Терми-

сторный преобразователь по постоянному току включается в одно из плеч внутреннего моста M_2 , который, в свою очередь, является плечом моста M_1 . К диагоналям внешнего моста подключаются источники постоянного тока E_1 и E_2 таким образом, что токи от них I_1 и I_2 текут через термистор навстречу друг другу.

Напряжение источника E_1 в процессе подготовки прибора к измерениям устанавливается таким, чтобы независимо от рабочего сопротивления преобразователя мощность постоянного тока, рассеиваемая термистором при начальной балансировке моста, всегда была 5,5 мВт. Контроль уровня напряжения при этом осуществляется с помощью выходного индикатора.

Начальная балансировка моста осуществляется путем изменения выходного уровня генератора звуковой частоты, нагруженного на термистор. При начальной балансировке моста источник E_2 отключен.

После подачи на вход термисторного преобразователя СВЧ мощности возникает разбаланс моста. Для восстановления баланса моста включают источник E_2 . Увеличивая его напряжение, уменьшают суммарный постоянный ток через термистор, а следовательно, и мощность постоянного тока, рассеиваемую термистором.

Состояние баланса моста при измерении СВЧ мощности описывается выражением

$$P_{\text{СВЧ}} = (2I_1 I_2 - I_2^2) R_T = \\ = I_2 (2I_1 - I_2) R_T,$$

где R_T — рабочее сопротивление термистора.

Величина тока I_2 , пропорциональная СВЧ мощности, измеряется выходным прибором μW , шкала которого отградуирована в единицах мощности.

Выходной прибор также используется для контроля баланса моста перед измерением и в процессе измерения СВЧ мощности.

Динамический диапазон ваттметра делителями на 10 и 20 дБ, включаемыми на входе приемного преобразо-

ваттеля МБ-88, можно расширить от 5 мВт до 0,5 Вт на частотах от 0,03 до 5,64 ГГц.

В состав комплекта входят: мост Я2М-20А, приемные преобразователи,

аттенюатор на 10 дБ, аттенюатор на 20 дБ.

Ваттметр МЗ-10А используется при регулировке и настройке измерительных генераторов.

Ваттметр поглощаемой мощности МЗ-28

Прибор (рис. 3.21) предназначен для измерения мощности синусоидальных СВЧ сигналов и среднего значения мощности импульсно-модулированных СВЧ сигналов малого и среднего уровня в коаксиальных трактах.

Волновое сопротивление 50 Ом и 75 Ом

КСВ на входе прибора не более:

1,3 в диапазоне частот 0,2—

1,0 ГГц (в тракте 50 Ом),

1,5 в диапазонах частот 0,02—

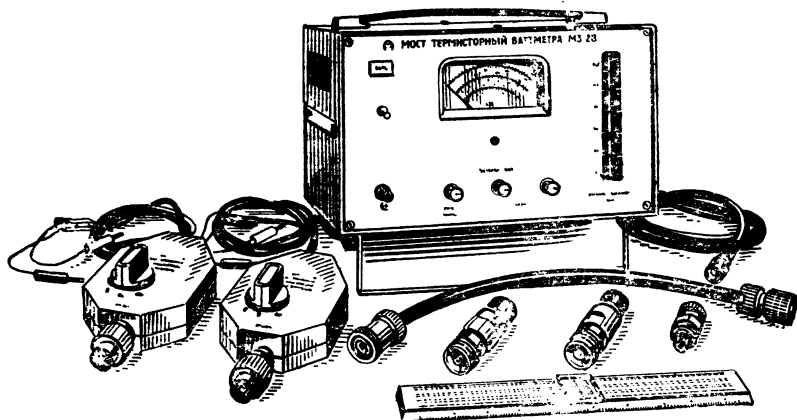


Рис. 3.21

Основные технические характеристики

Диапазон измеряемых мощностей 0,1—1000 мВт на пределах 0,15—0,5—1,5—5,0—7,5—10 мВт (0,1—10 мВт в положении переключателя «1», 10—1000 мВт в положении переключателя «100»).

Основная погрешность прибора: $\pm 10\%$ на пределах 0,1—1000 мВт в тракте 50 Ом, на пределах 0,1—10 мВт в тракте 75 Ом, $\pm 12\%$ на пределах 10—1000 мВт в тракте 75 Ом

Диапазон рабочих частот:

0,02—5,5 ГГц в тракте 50 Ом,

0,02—3,0 ГГц в тракте 75 Ом

0,2 ГГц, 1,0—5,5 ГГц (в тракте 50 Ом) и 0,02—3,0 ГГц (в тракте 75 Ом)

Коэффициент эффективности не менее:

0,95 в диапазоне частот 0,02—1 ГГц,

0,8 в диапазоне частот 1—2 ГГц,

0,7 в диапазоне частот выше 3 ГГц

Коэффициент деления делителя:

115 ± 15 в диапазоне частот 0,02—3,0 ГГц,

110 ± 15 в диапазоне частот 3,0—5,5 ГГц

Нестабильность показаний ваттметра во времени в установившемся режиме не более 6 мкВт/мин

Время прогрева прибора 15 мин

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В или частотой $400 \pm \frac{2,8}{1,2}$ Гц и напряжением $115/220 \pm 5\%$

Потребляемая мощность 16 ВА

Условия эксплуатации: температура от -30 до $+50^\circ\text{C}$, относительная влажность до 98% при $+35^\circ\text{C}$

Габаритные размеры термисторного моста ваттметра Я2М-64 $300 \times 205 \times 250$ мм

Масса:

термисторного моста 5,5 кг,
выносного ВЧ блока 1,2 кг

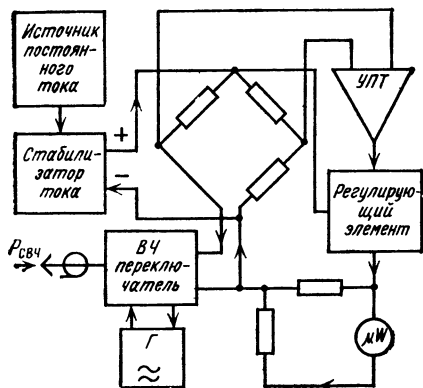


Рис. 3.22

Ваттметр (рис. 3.22) состоит из двух выносных ВЧ блоков и термисторного моста (измерительного блока), соединяемых между собой кабелем. В каждом высокочастотном блоке смонтированы ВЧ переключатель, делитель 1:100 и термисторный преобразователь со вставкой на базе терморезистора СТЗ-32 (рис. 3.23).

Переключатель имеет три фиксированных положения: 1,0, 100.

В положении «1» СВЧ мощность подается на терморезистор вставки непосредственно, в положении «100» — через делитель 20 дБ, выполненный на пластинчатом резисторе С6-1-12. В положении 0 передающий тракт разрывается, вход вставки закорачивается сопротивлением 51 Ом на корпус и производится установка или контроль баланса моста, в одном из плеч которого включен терморезистор вставки.

Начальная балансировка моста (перед подачей СВЧ мощности) осуществляется изменением уровня мощности генератора звуковой частоты, нагруженного на терморезистор вставки.

Комбинированное питание терморезистора вставки от двух автономных источников постоянного тока и тока звуковой частоты позволяет исключить зависимость показаний ваттметра от температуры окружающей среды и от смены вставки.

Для измерения мощности переключатель переводится в положение 1 или 100. При этом измеряемая мощность подводится к терморезистору вставки и вызывает разбаланс моста. Образующий сигнал разбаланса подается на вход усилителя постоянного тока (УПТ). Усиленное напряжение поступает на регулирующий элемент (транзистор 2Т 321В), вызывая увеличение тока через него. Так как регулирующий элемент шунтирует мостовую схему, ток через терморезистор вставки будет уменьшаться. Увеличение тока через регулирующий элемент (соответственно уменьшение тока через терморезистор вставки) будет происходить до тех пор, пока не наступит баланс моста. Величина изменения тока в терморезисторе, пропорциональная измеряемой мощности, индицируется стрелочным прибором, который включен на выходе регулирую-

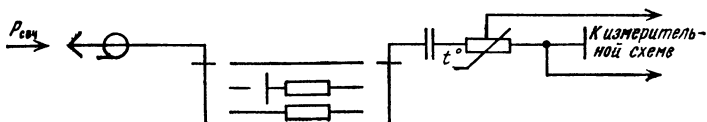


Рис. 3.23

го элемента (в цепи эмиттера транзистора 2Т 321В). Шкала выходного индикатора отградуирована в единицах измеряемой мощности.

Прибор прост в эксплуатации и имеет широкий динамический диапазон.

В состав комплекта входят: мост термисторный Я2М-64, ВЧ блоки на 50 и 75 Ом и две вставки термисторные коаксиальные ВТК-3.

Ваттметр М3-28 используется при настройке и поверке измерительных генераторов.

Ваттметр поглощаемой мощности термисторный М3-22

Прибор (рис. 3,24) предназначен для измерения мощности синусоидальных СВЧ сигналов и среднего значения мощности импульсно-модулированных СВЧ сигналов в коаксиальных и волноводных трактах.

Основные технические характеристики

Диапазон измеряемых мощностей 6—6000 мкВт на пределах 12—30—60—120—300—600—1200—3000—6000 мкВт

Основная погрешность прибора

$$\pm \left(B + \frac{0,5A + 50}{P} \right) \%,$$

где $B = 0,5 + |\delta_{ка}|$; A — предел измерения, мкВт, P — показание ваттметра; $\delta_{ка}$ — погрешность аттестации тер-

мисторного преобразователя по коэффициенту эффективности, %.

Диапазон частот 0,15—78,3 ГГц

Нестабильность показаний ваттметра во времени в установившемся тепловом режиме не более 0,5 мкВт за 30 с

Время прогрева прибора после включения не более

0,5 ч при верхних пределах
1200—3000—6000 мкВт,
2 ч на остальных пределах.

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц и напряжением 220 ± 22 В

Потребляемая мощность 60 ВА

Условия эксплуатации. температура от +5 до +40°С, относительная влажность до 90—95% при +30°С

Габаритные размеры измерительного блока

530×325×375 мм

Масса 26 кг

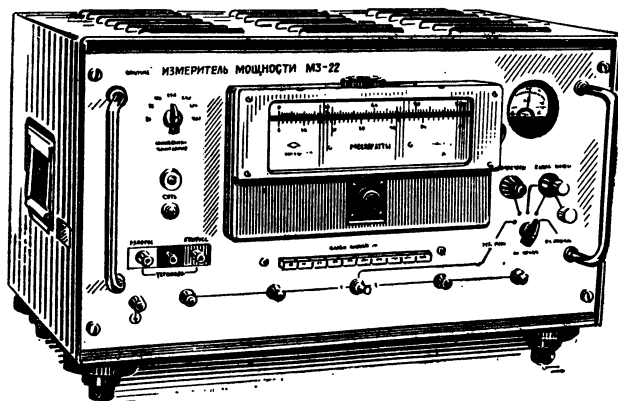


Рис. 3.24

Ваттметр (рис. 3.25) состоит из измерительного блока и комплекта термисторных преобразователей.

Основу измерительного блока составляют два последовательно включенных самобалансирующих моста: рабочий и компенсационный. Рабочий мост выполнен в виде двойного моста,

стор приемного преобразователя СВЧ мощности, приводит к образованию сигнала разбаланса, воздействующего на следящую систему источника тока замещения. В результате на выходе источника образуется ток замещения такой величины и направления, что при подаче его в схему рабочего моста

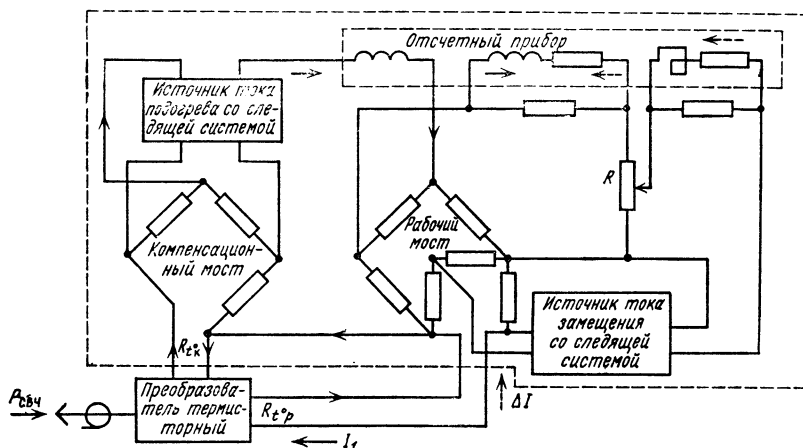


Рис. 3.25

благодаря чему осуществляется развязка между источниками тока подогрева и тока замещения. В схему рабочего моста включается рабочий термистор приемного преобразователя ($R_{тп}$), а в схему компенсационного моста — компенсационный ($R_{тк}$).

Следящие системы, входящие в источники тока подогрева и тока замещения, автоматически поддерживают мосты в состоянии баланса. При изменении температуры окружающей среды система управления током подогрева компенсационного термистора изменяет его сопротивление так, что баланс компенсационного моста сохраняется. Поскольку последовательно с компенсационным мостом включен рабочий, то и в нем сохраняется состояние, близкое к балансу. Таким образом, компенсационный мост способствует уменьшению дрейфа нуля прибора в процессе измерения.

Нарушение баланса рабочего моста, вызванное подачей на рабочий терми-

уменьшается результирующее значение постоянного тока в рабочем термисторе и восстанавливается баланс моста. Величина изменения мощности постоянного тока, рассеиваемой термистором, является мощностью замещения и численно равна измеряемой СВЧ мощности, если при этом не учитывать неэквивалентности замещения.

Величина замещающей мощности индицируется отсчетным прибором, который представляет собой ферродинамический ваттметр постоянного тока. Переключение пределов измерения обеспечивается универсальным шунтом R . Ваттметр имеет выход на самописец.

Благодаря применению полупроводниковых приборов и интегральных микросхем в следящих системах источников тока подогрева и тока замещения достигается малая постоянная времени установления показаний сигнала на клеммах ВЫХОД НА САМОПИСЕЦ, что позволяет применять

прибор в автоматизированных системах. В состав комплекта входят приемные термисторные преобразователи М5-29—М5-32, М5-40—М5-45, М5-49, М5-50.

Ваттметр М3-22 используется при регулировке и проверке измеритель-

ных генераторов. Измерительный мост, входящий в комплект ваттметра, может применяться совместно с калибраторами для аттестации приемных преобразователей по коэффициенту эффективности и комплектной проверки ваттметров малого уровня.

3.4. Ваттметры поглощаемой мощности термоэлектрические

Ваттметр поглощаемой мощности термоэлектрический М3-21

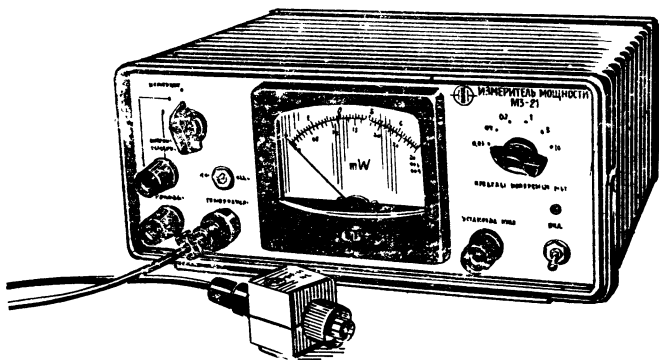


Рис. 3.26

Прибор (рис. 3.26) предназначен для измерения мощности синусоидальных СВЧ сигналов и среднего значения мощности импульсно-модулированных СВЧ сигналов малого уровня в коаксиальных и волноводных трактах.

Основные технические характеристики

Диапазон измеряемых мощностей 0,01—10 мВт на пределах 0,03—0,1—0,3—1—10 мВт

Предельно допустимое значение импульсной мощности не более 1 Вт при средней мощности не более 10 мВт и длительности импульса не более 10 мкс

Основная погрешность $\pm(10 + \frac{1(\text{мкВт})}{P_x(\text{мкВт})} \cdot 100)\%$

Диапазон частот 0,1—37,5 ГГц в зависимости от количества комплектующих головок

Тип головки	Размеры СВЧ тракта, мм	Диапазон частот, ГГц	КСВ
М5-51	∅(10×4,34)	0,1—10	1,5
М5-52	35×15	5,64—8,24	1,5
М5-53	23×10	8,24—12,05	1,5
М5-54	17×8	12—16,7	1,5
М5-55	11×5,5	17,44—25,86	1,6
М5-56	7,2×3,4	25,86—37,5	1,6

Время установления показаний не более 10 с

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В или частотой $400 \pm \frac{1}{2}$ Гц и напряжением 220 ± 11 В

Потребляемая мощность 15 ВА

Условия эксплуатации: температура от -30 до $+50^\circ\text{C}$, относительная влажность воздуха до 98% при $+35^\circ\text{C}$

Габаритные размеры измерительного блока $300 \times 120 \times 240$ мм

Масса измерительного блока 3,5 кг

Принцип работы прибора заключается в измерении термо-э.д.с., образованной на выходе термопреобразователя при рассеянии в нем мощности СВЧ. Структурная схема ваттметра (рис. 3.27) включает в себя термо-

конце отрезка передающей линии преобразователя. Возникающая в результате нагрева спая термопар термо-э.д.с. подается через LC-фильтр на интегральный преобразователь (ключ), преобразующий постоянное напряжение в пульсирующее. Преобразованное напряжение усиливается низкочастотным усилителем. После выпрямления с фазового детектора сигнал подается на усилитель постоянного тока, а затем на отсчетный прибор, откалиброванный в единицах мощности.

Для уменьшения влияния дестабилизирующих факторов в измерительном блоке применяется глубокая отрицательная связь. Синхронизация работы интегрального преобразователя и фазового детектора (демодулятора) осуществляется с помощью опорного генератора.

В приборе предусмотрен калибратор, посредством которого производится самокалибровка ваттметра перед началом работы и после смены преобразователя.

Основным элементом каждого из преобразователей является пленочная термопара, нанесенная на стекловолнолоно малого диаметра. Благодаря малым размерам термопар время установления показаний прибора также невелико.

По сравнению с термисторными ваттметрами прибор имеет лучшую стабильность работы, дрейф нуля практически отсутствует.

В состав комплекта входят: набор приемных термоэлектрических преобразователей, вставки термоэлектрические коаксиальные, вставки термоэлектрические волноводные, переходы коаксиальные Э2-13, Э2-15, Э2-31, Э2-115/3, Э2-115/2, переход волноводный.

Ваттметр МЗ-21 используется при регулировке и проверке маломощных передающих устройств и измерительных генераторов.

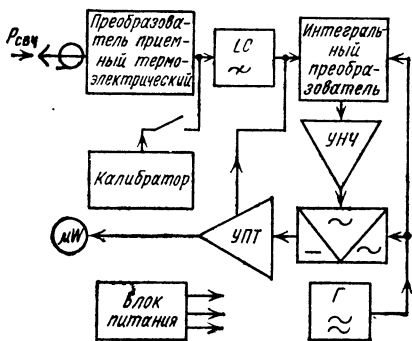


Рис. 3.27

электрический преобразователь и измерительную часть, соединяемые между собой кабелем.

Мощность СВЧ сигнала, поступающая на вход приемного преобразователя (головки), рассеивается непосредственно пленочной термопарой (в коаксиальных преобразователях — двумя термопарами), включенной на

3.5. Ваттметры поглощаемой мощности импульсные

Ваттметр поглощаемой мощности импульсный МЗ-27А

Прибор (рис. 3.28) предназначен для измерения малых уровней им-

пульсной СВЧ мощности при огибающей прямоугольной формы.

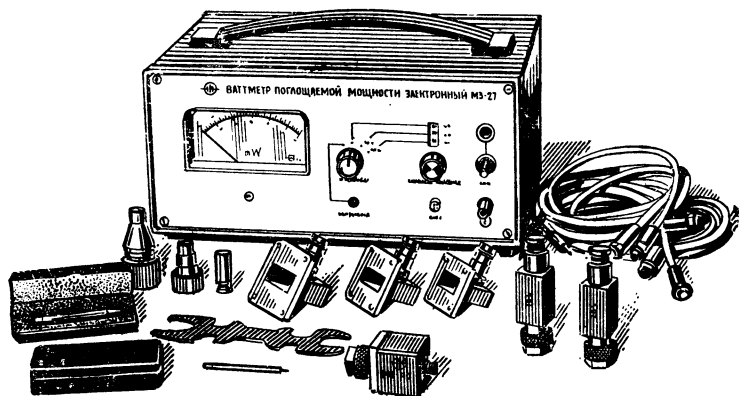


Рис. 3.28

Основные технические характеристики

Диапазон измеряемых мощностей 1,2 мкВт — 1 Вт на пределах 3—6—12—30—60—120 мкВт и 0,3—0,6—1,2—3, 0—6, 0—12,0 мВт — 0,03—0,06—0,12—0,3—0,6—1,2 Вт с внешним делителем

Диапазон частот 0,1—3 ГГц
Волновое сопротивление 50 Ом
КСВ на входе ваттметра не более 1,35

Диапазон измеряемых мощностей, Вт	Погрешность измерения, %
$(1,2-120) \cdot 10^{-6}$	$\pm(13+10^{-4}A)$
$(0,12-12) \cdot 10^{-3}$	$\pm(20+10^{-2}A)$
$1,2 \cdot 10^{-2}-1$	$\pm(20+A)$

Здесь $A = 6 \cdot 10^{-4}$ Вт/Р_{изм}, Р_{изм} — измеряемая мощность, Вт

Диапазон частот следования импульсов 50 Гц — 5 кГц

Диапазон длительности импульсов 0,3—40 мкс

Время установления показаний не более 2 с

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц или частотой $400 \pm 2\%$, напряжением 220 ± 11 В

Потребляемая мощность ≤ 15 ВА
Условия эксплуатации: температура от +5 до +40°С, относительная влажность до 90—95% при +30°С
Габаритные размеры измерительного блока 300×165×220 мм

Масса 5 кг

Принцип, положенный в основу работы ваттметра, заключается в измерении амплитуды СВЧ импульсов на согласованной нагрузке с использованием при этом квадратичного детектора. Структурная схема ваттметра (рис. 3.29) включает в себя прием-

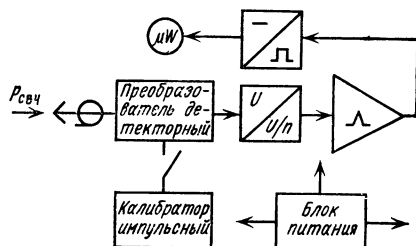


Рис. 3.29

ный детекторный преобразователь, резистивный делитель, импульсный усилитель, импульсный одноканальный преобразователь, импульсный калибратор и блок питания.

Продетектированный в приемном преобразователе импульсный СВЧ сиг-

нал после усиления поступает на импульсный одноканальный преобразователь Я9-17, в котором видеоимпульсы положительной полярности преобразуются в постоянное напряжение. Выходное напряжение преобразователя Я9-17, пропорциональное подводимой импульсной СВЧ мощности, индицируется выходным стрелочным прибором μW . Для калибровки прибора в процессе эксплуатации имеется встроенный калибратор, выдающий стабилизированное видеоимпульсное напряжение отрицательной полярности.

Блок питания обеспечивает необходимые для работы электрической схемы прибора питающие напряжения постоянного тока.

Приемный детекторный преобразователь представляет собой детекторную головку на базе диода 2A107A с предусилителем на выходе. Диод включается в центральный проводник на конце отрезка коаксиальной линии и согласуется с помощью пленочного резистора, включаемого параллельно диоду. Компенсация температурной зависимости коэффициента преобра-

зования приемного преобразователя осуществляется с помощью температурозависимого делителя на входе предусилителя.

Включение прибора в тракты с размерами коаксиала $10 \times 4,34$ мм и $16 \times 6,96$ мм осуществляется посредством коаксиальных переходов Э2-115/4, Э2-112/2, Э2-111/4, Э2-106, Э2-107, Э2-108.

Мощность от 0,12 мВт до 12 мВт измеряется с помощью внешнего делителя на 20 дБ, от 0,012 Вт до 1 Вт — двумя последовательно включенными делителями на 20 дБ каждый. При измерениях пользуются поправочными графиками.

На задней стенке прибора имеется разъем ВЫХОД ОГИБ-КОМПАРАТОР для контроля формы огибающей СВЧ импульса и для подключения внешних измерительных приборов и компаратора при калибровке ваттметра.

В состав комплекта входят: приемный детекторный преобразователь, два фиксированных аттенуатора на 20 дБ, компаратор и набор коаксиальных переходов.

3.6. Ваттметры для оптического диапазона длин волн

Ваттметры для оптического диапазона длин волн обеспечивают измерение мощности от 0,1 до 1000 мВт и

энергии одиночных импульсов ОКГ от 1 до 10000 мДж. Индикация энергии цифровая.

Ваттметр поглощаемой мощности калориметрический МКЗ-18А

Прибор (рис. 3.30) предназначен для измерения мощности сигналов непрерывных колебаний, средней мощности амплитудно-модулированных сигналов и энергии одиночных импульсов оптических квантовых генераторов.

Основные технические характеристики

Диапазоны измерений:
мощности до 10 мВт на пределах
0,1—0,3—1,0—3,0—10 мВт,
энергии 1—300 мДж

Погрешность прибора:

при измерении мощности не более $\pm 10\%$,

при измерении энергии не более $\pm 10\%$ для уровней выше 3 мДж, не более $\pm 20\%$ для уровней ниже 3 мДж

Диапазон длин волн 0,4—3,5 мкм

Время прогрева прибора после включения не более 1 ч

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц и напряжением 220 ± 22 В

Потребляемая мощность 120 ВА

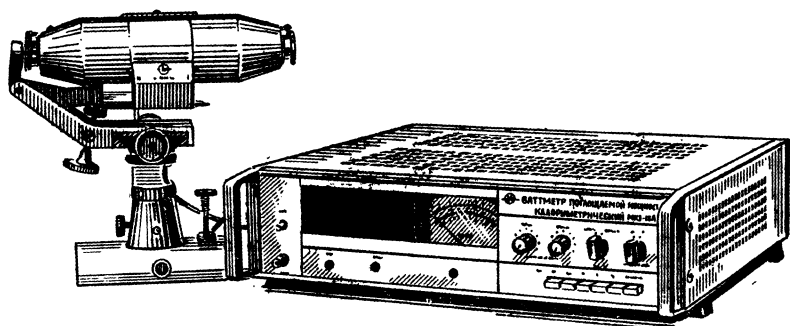


Рис. 3.30

Условия эксплуатации: температура от $+5$ до $+40^{\circ}\text{C}$, относительная влажность до 95% при $+30^{\circ}\text{C}$

Габаритные размеры:

прибора $480 \times 475 \times 120$ мм,
головки $340 \times 309 \times 130$ мм

Масса прибора не более 19 кг

Ваттметр МКЗ-18А (рис. 3.31) состоит из измерительного блока и измерительной головки, соединяющихся между собой кабелем.

В основу работы прибора в режиме измерения мощности положен метод сравнения теплового действия оптического излучения, поглощенного в калориметре, с мощностью постоянного тока, подводимой к этому же калориметру.

В измерительной головке расположены идентичные по конструкции рабочий (раб) и опорный (опор) калориметры, каждый из которых пред-

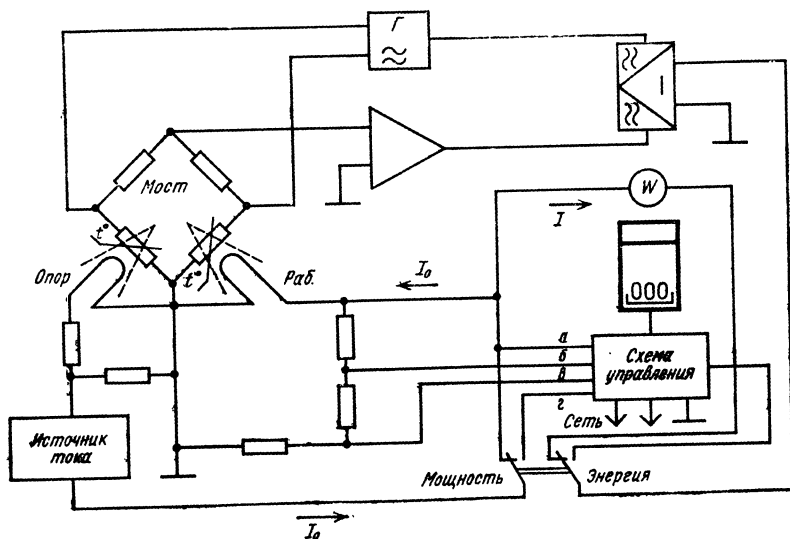


Рис. 3.31

ставляет собой медный конус с двумя теплосвязанными обмотками. Одна из обмоток является подогревной, а вторая представляет собой терморезистор из никелевой тонкой проволоки.

На подогревные обмотки калориметров, включенных между собой последовательно, подается опорный ток I_0 от стабилизированного источника тока. Под действием этого тока калориметры нагреваются до стационарной температуры.

Терморезисторы включены в мост переменного тока, который питается от генератора звуковой частоты и балансируется в отсутствии света. При попадании оптического излучения на рабочий калориметр баланс моста нарушается, в диагонали моста появляется сигнал разбаланса. Он проходит через усилитель и затем поступает на фазовый детектор, на который, кроме того, подается опорный сигнал от генератора звуковой частоты. Постоянный ток I с выхода фазового детектора подается на подогревную обмотку рабочего калориметра в направлении, противоположном опорному току. Таким образом, мощность подогрева рабочего калориметра уменьшается и баланс моста восстанавливается. Величина изменения мощности подогрева, равная измеряемой мощности, индицируется стрелочным прибором:

$$P = 2RI_0I - RI^2,$$

где R — сопротивление обмотки подогрева.

Используемый для измерения энергии одиночных импульсов принцип работы прибора основан на измерении времени остывания калориметра после воздействия импульса ОКГ.

Переключение режимов работы осуществляется с помощью переключателя на передней панели прибора. При этом включается схема управления и счетчик времени.

В отсутствие импульса ОКГ оба калориметра нагреваются током I_0 до температуры t^0 (в схеме управления замкнуты контакты a и $г$). Мост балансируется.

В момент прихода импульса оптического излучения температура рабочего калориметра повышается и баланс моста нарушается. Сигнал разбаланса усиливается, передается на фазовый детектор и с фазового детектора поступает на схему управления. В зависимости от энергии импульса оптического излучения схема управления уменьшает ток подогрева рабочего калориметра в большей или меньшей степени путем замыкания контактов $в-г$ или $б-г$ соответственно. Это способствует ускорению процесса остывания рабочего калориметра до температуры t^0 , которая установилась в нем до начала измерений.

При достижении температуры t^0 схема управления замыкает контакты $a-г$, прибор возвращается в исходное состояние.

Одновременно с коммутацией тока I_0 схема управления запускает и останавливает счетчик времени, который измеряет время остывания калориметра, пропорциональное энергии импульсов. Счетчик времени откалиброван в единицах измеряемой энергии.

Ваттметр имеет выход на самописец. Отсчет мощности производится по стрелочному прибору; энергии одиночных импульсов — по цифровому индикатору.

3.7. Ваттметры для звукового диапазона длин волн

Измеритель выходной мощности МЗ-19 (Ф565)

Прибор предназначен для измерения выходной активной мощности усилителей, генераторов в диапазоне звуковых длин волн.

Основные технические характеристики

Диапазоны измеряемых мощностей
0,1 мВт — 10 Вт на пределах 10 — 100 мВт — 1—10 Вт

Входные сопротивления от 1 Ом до 25 кОм

Диапазон частот 20 Гц — 30 кГц

Погрешность измерений:

$\pm 5\%$ в диапазоне частот 20 Гц — 20 кГц,

$\pm 10\%$ в диапазоне частот 20 кГц — 30 кГц

Питание от сети переменного тока частотой $50 \pm 0,5$ Гц, напряжением 220 ± 22 В

Потребляемая мощность 10 ВА

Условия эксплуатации: температура от $+10$ до $+35^\circ\text{C}$, относительная влажность до 80% при $+20^\circ\text{C}$

Габаритные размеры

$280 \times 205 \times 195$ мм

Масса 6 кг

В основу работы прибора положен метод измерения напряжения на известных входных сопротивлениях. Номинальные значения активных нагрузочных сопротивлений измеряются ступенями от 1 Ом до 25 кОм. Всего прибор имеет 45 ступеней с номинальными значениями, определенными из соотношения

$$K = a \cdot 10^n,$$

где a — любое из чисел 1; 1,25; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8, n — 0 или любое из чисел 1, 2, 3, 4.

При нагрузочных сопротивлениях от 2 до 25 Ом погрешность прибора $\pm 3\%$.

Список литературы

1. Измерения в электронике. Справочник. т. 1. Под ред. В. А. Доброхова. М. — Л., «Энергия», 1965.
2. Билько М. И., Томашевский А. К., Баймуратов Е. А., Шаров П. П. Измерение мощности на СВЧ. М., «Сов. радио», 1976.
3. Метрология. Термины и определения. ГОСТ 16263—70. М., 1970.
4. Ваттметры СВЧ. Технические требования. Методы испытаний. ГОСТ 13605—75. М., 1975.
5. Приборы электронные измерительные. Общие технические требования. ГОСТ 9763—67. М., 1967.
6. Справочник по электронно-измерительным приборам. Под ред. К. К. Илюнина. Л., «Энергия», 1973.

Предметный указатель

Блок:

- интервалов времени ЯЗЧ-45 64
- предварительного выбора ЯЗЧ-34 117
- усиления ЯЗЧ-59 125
- формирования гармоник ЯЗЧ-61 126

Ваттметр:

- поглощаемой мощности импульсный МЗ-27А 263
- — калориметрический МЗ-11А 247
- — МЗ-13 249
- — МЗ-13/1 251
- — МКЗ-18А 265
- — термисторный МЗ-1А 253
- — МЗ-10А 255
- — МЗ-22 260
- — МЗ-28 258
- — термоэлектрический МЗ-21 262

Генератор:

- кварцевый Ч1-40 35
- сигналов высокочастотный Г4-55 206, 207
- — Г4-56 206, 207
- — Г4-70 195, 196
- — Г4-73 182, 231
- — Г4-78—Г4-83 207, 215
- — Г4-90 207, 209
- — Г4-91 207, 209
- — Г4-93 182, 189
- — Г4-102 182, 185
- — Г4-104 207, 225
- — Г4-105 207, 225
- — Г4-106 182, 187
- — Г4-107 195, 199
- — Г4-111 207, 223
- — Г4-112 207, 219
- — Г4-114, 207, 212
- — Г4-115 207, 212
- — Г4-115 195, 202
- — Г4-117 166, 177, 182
- — Г4-118 182, 191
- — Г4-135 207, 219
- метрового и дециметрового диапазонов Г4-37 195
- — Г4-44-195
- низкочастотный ГЗ-7А 166
- — ГЗ-18 166
- — ГЗ-35 166
- — ГЗ-36 166
- — ГЗ-48 166
- — ГЗ-49 166
- — ГЗ-56 166, 170
- — ГЗ-101 166, 228
- — ГЗ-102 166, 171
- — Г4-105 166, 173
- — ГЗ-106 166, 173
- — ГЗ-107 166, 175
- — ГЗ-108 166
- радиовещательного диапазона Г4-18 182
- — Г4-42 182
- — Г4-65 182
- — Г4-68 182
- — Г4-74 182
- специальной формы ГЗ-39 157
- — Г6-11 157
- — Г6-14 157
- с непрерывным перекрытием диапазона ГЗ-104 166, 178

Двухструктурный генератор сигналов специальной формы Г6-15 157, 161

Делитель частоты Ч6-63 78

Измеритель выходной мощности МЗ-19 267

Интераторный генератор сигналов специальной формы Г6-26 157, 158

Компаратор:

- фазовый Ч7-17 29
- частотный Ч7-12 27

Преобразователь:

- напряжение — частота ЯЗЧ-25 114
- частоты автоматический Ч5-12 99
- Ч5-13 101
- ЧК5-24 104
- ЧК5-25 104
- ЯЗЧ-41 119
- ЯЗЧ-42 121
- ЯЗЧ-43 122
- ЯЗЧ-49 123
- шкал времени Ч5-18 62

Приемник — компаратор Ч7-9 18

- — Ч7-10 21

Приемник:

- сигналов точного времени Ч7-8 23
- — Ч7-13 23

Синтезатор:

- интервалов времени Ч7-21 65
- частоты Ч6-58 70

Синхрометр:

- кварцевый Ч7-15 58
- программирующийся Ч7-14 60

Система сбора и обработки данных К 200 147

- — — — К 734 147

- — — 1001—1001/29 137

- — — 1002—1002/29 143

Стандарт:

- времени и частоты Ч1-48 49
- частоты Ч1-53 37
- водородный Ч1-44 32
- Ч1-46 43, 44
- и времени цезиевый Ч1 47 43, 46
- рубидиевый Ч1-43 52
- Ч1-50 43, 49

Умножитель:

- частоты Ч6-62 76
- синтезаторный Ч6-2 73

Усилитель широкополосный ЯЗЧ-31 116

— — ЯЗЧ-32 117

Частотомер:

- электронно-счетный Ф 551 108
- Ф 552 108
- Ф 571 108
- Ф 576 108
- ЧЗ-12 107
- ЧЗ-32 107
- ЧЗ-34 107
- ЧЗ-35 107
- ЧЗ-44 94
- ЧЗ-45 96
- ЧЗ-46 96
- ЧЗ-51 96
- реверсивный ЧЗ-42 92
- сервисный ЧЗ-36 87
- ЧЗ-41 85
- универсальный ЧЗ-38 89
- ЧЗ-39 89

Алфавитный указатель

- ГЗ-7А — генератор сигналов низкочастотный 166
- ГЗ-18 — генератор сигналов низкочастотный 166
- ГЗ-35 — генератор сигналов низкочастотный 166
- ГЗ-36 — генератор сигналов низкочастотный 166
- ГЗ-39 — генератор сигналов специальной формы 157
- ГЗ-48 — генератор сигналов низкочастотный 166
- ГЗ-49 — генератор сигналов низкочастотный 166
- ГЗ-56 — генератор сигналов низкочастотный 166, 170
- ГЗ-101 — генератор сигналов низкочастотный 166, 228
- ГЗ-102 — генератор сигналов низкочастотный 166, 171
- ГЗ-104 — генератор с непрерывным перекрытием диапазона 166, 178
- ГЗ-105 — генератор сигналов низкочастотный 166, 173
- ГЗ-106 — генератор сигналов низкочастотный 166, 173
- ГЗ-107 — генератор сигналов низкочастотный 166, 175
- ГЗ-108 — генератор сигналов низкочастотный 166
- Г4-18 — генератор сигналов радиовещательного диапазона 182
- Г4-37 — генератор сигналов метрового и дециметрового диапазонов 195
- Г4-42 — генератор сигналов радиовещательного диапазона 182
- Г4-44 — генератор сигналов метрового и дециметрового диапазонов 195
- Г4-55 — генератор сигналов высокочастотный 206, 207
- Г4-56 — генератор сигналов высокочастотный 206, 207
- Г4-65 — генератор сигналов радиовещательного диапазона 182
- Г4-68 — генератор сигналов радиовещательного диапазона 182
- Г4-70 — генератор сигналов высокочастотный 195, 196
- Г4-73 — генератор сигналов высокочастотный 182, 231
- Г4-74 — генератор сигналов радиовещательного диапазона 182
- Г4-78—Г4-83 — генераторы сигналов высокочастотные 207 215
- Г4-90 — генератор сигналов высокочастотный 207, 209
- Г4-91 — генератор сигналов высокочастотный 207, 209
- Г4-93 — генератор сигналов высокочастотный 182, 189
- Г4-102 — генератор сигналов высокочастотный 182, 185
- Г4-104 — генератор сигналов высокочастотный 207, 225
- Г4-105 — генератор сигналов высокочастотный 207, 225
- Г4-106 — генератор сигналов высокочастотный 182, 187
- Г4-107 — генератор сигналов высокочастотный 195, 199
- Г4-111 — генератор сигналов высокочастотный 207, 223
- Г4-112 — генератор сигналов высокочастотный 207, 219
- Г4-114 — генератор сигналов высокочастотный 207, 212
- Г4-115 — генератор сигналов высокочастотный 207, 212
- Г4-116 — генератор сигналов высокочастотный 195, 202
- Г4-117 — генератор сигналов высокочастотный 166, 177, 182
- Г4-118 — генератор сигналов высокочастотный 182, 191
- Г4-135 — генератор сигналов высокочастотный 207, 219
- Г6-11 — генератор сигналов специальной формы 157
- Г6-14 — генератор сигналов специальной формы 157
- Г6-15 — двухструктурный генератор сигналов специальной формы 157, 161
- Г6-26—интеграторный генератор сигналов специальной формы 157, 158
- К 200 — система сбора и обработки данных 147
- К 734 — система сбора и обработки данных 147
- МЗ-1А — ваттметр поглощаемой мощности термисторный 253
- МЗ-10А — ваттметр поглощаемой мощности термисторный 255
- МЗ-11А — ваттметр поглощаемой мощности калориметрический 247

- МЗ-13 — ваттметр поглощаемой мощности калориметрический 249
 МЗ-13/1 — ваттметр поглощаемой мощности калориметрический 251
 МКЗ-18А — ваттметр поглощаемой мощности калориметрический 265
 МЗ-19 — измеритель выходной мощности 267
 МЗ-21 — ваттметр поглощаемой мощности термоэлектрический 262
 МЗ-22 — ваттметр поглощаемой мощности термисторный 260
 МЗ-27А — ваттметр поглощаемой мощности импульсный 263
 МЗ-28 — ваттметр поглощаемой мощности термисторный 258
 Ф 551 — частотомер электронно-счетный 108
 Ф 552 — частотомер электронно-счетный 108
 Ф 571 — частотомер электронно-счетный 108
 Ф 576 — частотомер электронно-счетный 108
 Ч1-40 — генератор кварцевый 35
 Ч1-43 — стандарт частоты рубидиевый 52
 Ч1-44 — стандарт частоты водородный 52
 Ч1-46 — стандарт частоты водородный 43, 44
 Ч1-47 — стандарт частоты и времени цезиевый 43, 46
 Ч1-48 — стандарт времени и частоты 49
 Ч1-50 — стандарт частоты рубидиевый 43, 49
 Ч1-53 — стандарт частоты 37
 ЧЗ-12 — частотомер электронно-счетный 107
 ЧЗ-32 — частотомер электронно-счетный 107
 ЧЗ-34 — частотомер электронно-счетный 107
 ЧЗ-35 — частотомер электронно-счетный 107
 ЧЗ-36 — частотомер электронно-счетный сервисный 85
 ЧЗ-38 — частотомер электронно-счетный универсальный 89
 ЧЗ-39 — частотомер электронно-счетный универсальный 89
 ЧЗ-41 — частотомер электронно-счетный сервисный 85
 ЧЗ-42 — частотомер электронно-счетный реверсивный 92
 ЧЗ-44 — частотомер электронно-счетный 94
 ЧЗ-45 — частотомер электронно-счетный 96
 ЧЗ-46 — частотомер электронно-счетный 96
 ЧЗ-51 — частотомер электронно-счетный 96
 Ч5-12 — преобразователь частоты автоматический 99
 Ч5-13 — преобразователь частоты 101
 Ч5-18 — преобразователь шкал времени 62
 ЧК5-24 — преобразователь частоты 104
 ЧК5-25 — преобразователь частоты 104
 Ч6-2 — умножитель частоты синтеза-торный 73
 Ч6-58 — синтезатор частоты 70
 Ч6-62 — умножитель частоты 76
 Ч6-63 — делитель частоты 78
 Ч7-8 — приемник сигналов точного времени 23
 Ч7-9 — приемник-компаратор 18
 Ч7-10 — приемник-компаратор 21
 Ч7-12 — компаратор частотный 27
 Ч7-13 — приемник сигналов точного времени 23
 Ч7-14 — синхронизатор программирующий 60
 Ч7-15 — синхронизатор кварцевый 58
 Ч7-17 — компаратор фазовый 29
 Ч7-21 — синтезатор интервалов времени 65
 ЯЗЧ-25 — преобразователь напряжения — частота 114
 ЯЗЧ-31 — усилитель широкополосный 116
 ЯЗЧ-32 — усилитель широкополосный 117
 ЯЗЧ-34 — блок предварительного выбора 117
 ЯЗЧ-41 — преобразователь частоты 119
 ЯЗЧ-42 — преобразователь частоты 121
 ЯЗЧ-43 — преобразователь частоты 122
 ЯЗЧ-45 — блок интервалов времени 64
 ЯЗЧ-49 — преобразователь частоты 123
 ЯЗЧ-59 — блок усиления 125
 ЯЗЧ-61 — блок формирования гармоник 126
 1001—1001/29 — система сбора и обработки данных 137
 1002—1002/29 — система сбора и обработки данных 143

С71 **Справочник по радиоизмерительным приборам.**
Под ред. В. С. Насонова. Т. 2. Измерение частоты,
времени и мощности. Измерительные генераторы.
М., «Сов. радио», 1977.

272 с. с ил.

На обороте тит. л. авт.: Ю. И. Алехин, Б. И. Ананчев,
С. Г. Афанасов и др.

Том 2 Справочника посвящен радиоизмерительным приборам для
измерения и синтеза частоты и времени, а также генераторам радио-
частотных сигналов в диапазоне от инфранизких до сверхвысоких час-
тот и приборам для измерения мощности радиочастотных сигналов.

Справочник предназначен для широкого круга специалистов, зани-
мающихся вопросами радиоизмерений в различных областях народно-
го хозяйства

С $\frac{30405-054}{046(01)-77}$ 7-77

6Ф2.08

ИБ 243

Алехин Юрий Иванович, Ананчев Борис Иванович
Афанасов Станислав Григорьевич, Билько Михаил Илларионович
Булатов Евгений Ильич, Гладконогих Вадим Владимирович
Домбровский Аскольд Святославович
Елисеев Алексей Алексеевич
Еремин Рудольф Николаевич, Зотов Юрий Федорович
Зуев Эдуард Васильевич, Никифоров Лев Борисович
Павловский Олег Петрович, Пашев Герман Петрович
Рудаков Юрий Николаевич, Садовский Андрей Борисович
Соколов Владимир Петрович
Томашевский Арсений Константинович
Филиппов Валерий Георгиевич



СПРАВОЧНИК ПО РАДИОИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ ПРИБОРАМ

Под редакцией В. С. Насонова

Том 2

**Измерение частоты, времени и мощности.
Измерительные генераторы**



Редактор Э. М. Горелик
Обложка художника Ю. П. Трапакова
Технический редактор А. А. Белоус
Корректор О. В. Щербак ова

Сдано в набор 26/I-77 г.	Подписано в печать 29/VII-77 г.	T-13556
Формат 60×90/16	Бумага типографская № 1	
Объем 17 усл. л. п.	21.282 уч.-изд. л.	
Тираж 40 000	Зак. 1438	Цена 1 р. 40 к.

Издательство «Советское радио», Москва, Главпочтамт, а/я 693

Московская типография № 4 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
Москва И-41, Б. Переяславская, 46.

1р. 40к.

