

С.Д. Клементьев

ФНЗ. ЧИТ. ЗР.  
НЕ ВЫДАЕТСЯ

# Автоматика и телемеханика



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ  
МОСКВА · 1955



621.397

С. Д. КЛЕМЕНТЬЕВ

К-483

ЭНЗ, ЧИТ. ЗАЛ  
НЕ ВЫДАЕТСЯ

# А В Т О М А Т И К А И Т Е Л Е М Е Х А Н И К А

Под редакцией  
Ф. Е. Темникова

18147  
В П Т И  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
БИБЛИОТЕКА  
МИНТРАНСМАШ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

МОСКВА 1955

ГОС. ПУБЛИЧНАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
БИБЛИОТЕКА СССР

1549/13  
59  
11

16213

## АННОТАЦИЯ

Широкое применение во всех ведущих отраслях народного хозяйства СССР и быстрое развитие автоматических телемеханических устройств вызывают необходимость ознакомления широких кругов читателей с основными методами и средствами автоматики и телемеханики.

В этой книге в общедоступной форме излагаются принципы действия и некоторые применения автоматических и телемеханических устройств.

Книга написана для неспециалистов по автоматике и телемеханике и предназначена для первого ознакомления с простейшими автоматическими и телемеханическими устройствами.

*Клементьев Сергей Дмитриевич*

Автоматика и телемеханика.

Редактор *Е. Б. Кузнецова*.

Техн. редактор *Н. Я. Мурашова*. Корректор *Ц. С. Варшавская*.

---

Сдано в набор 29/X 1954 г. Подписано к печати 2/II 1955 г.  
Бумага 84×108/32. Печ. л. 9,13. Условн. печ. л. 14,97.  
Уч.-изд. л. 16,07. Тираж 35000. Т-00864. Цена книги 5 р. 85 к.  
Заказ № 583.

---

Государственное издательство технико-теоретической литературы  
Москва, В-71, Б. Калужская, 15.

---

16-я типография Главполиграфпрома Министерства культуры СССР  
Москва, Трёхпрудный пер., д. 9.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	4
Введение . . . . .	5

### ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

#### ЭЛЕМЕНТЫ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

Глава I. Чувствительные элементы и датчики . . . . .	17
Глава II. Реле . . . . .	41
Глава III. Усилители . . . . .	80
Глава IV. Исполнительные устройства и двигатели . . . . .	92

### ЧАСТЬ ВТОРАЯ

#### АВТОМАТИКА

Глава V. Автоматический контроль . . . . .	106
Глава VI. Автоматическая защита . . . . .	136
Глава VII. Автоматическое управление . . . . .	152
Глава VIII. Автоматическое регулирование . . . . .	157
Глава IX. Следящие системы . . . . .	181

### ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

#### ТЕЛЕМЕХАНИКА

Глава X. Телеизмерение . . . . .	196
Глава XI. Телеуправление и телесигнализация . . . . .	217
Глава XII. Радиотелемеханика . . . . .	258
Заключение . . . . .	282
Литература . . . . .	291

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Автоматизация и телемеханизация производственных процессов—одно из важнейших направлений технического прогресса ведущих отраслей народного хозяйства СССР. В наши дни средства автоматики и телемеханики применяются в самых различных отраслях промышленности, транспорта и в быту.

В связи с быстрым развитием автоматизации и телемеханизации появляется большое число книг, в которых освещаются вопросы теории и практики устройства и применения различных автоматических и телемеханических приборов.

Вместе с тем ощущается нужда в научно-популярной литературе на эту тему, из которой широкие круги читателей, не имеющих специальной подготовки, могли бы почерпнуть сведения о различных автоматических устройствах, принципах их работы и об их применениях в различных отраслях промышленности. Настоящая книга в доступной форме рассказывает о наиболее простых автоматических приборах и аппаратах и их применениях.

Книга состоит из трёх частей: в первой части даётся описание элементов устройств автоматики и телемеханики: датчиков, реле, усилителей и исполнительных устройств различных типов.

Вторая часть посвящена описанию различных автоматических устройств и аппаратов, предназначенных для контроля, защиты, управления или регулирования различных производственных процессов.

Третья часть посвящена вопросам телемеханики, т. е. вопросам управления, сигнализации и измерения на расстоянии, а также вопросам радиотелемеханики.

Ф. Е. Темниковым написана первая глава книги и сделаны некоторые добавления.

---

## ВВЕДЕНИЕ

Слово «авто...» происходит от древнегреческого «ауто...», что значит сам, самостоятельный. Отсюда «автоматика»—самодвижение или самодействие.

Слово «теле...» также греческое, означает удалённость, а «телемеханика»—действие (управление) на расстоянии.

В настоящее время автоматикой и телемеханикой называют средства измерения, управления и регулирования как в отдельных машинах, так и в системах машин, в непосредственной близости от них или на расстоянии. Средства автоматик и телемеханики входят в состав современных производственных машин и установок и служат целям механизации и электрификации не самих технологических процессов, а процессов и операций управления. Если при механизации освобождается мускульная сила человека, то при автоматизации и телемеханизации человек освобождается от напряжённого и монотонного труда по наблюдению, регулированию и согласованию работы машин. Телемеханизация, кроме того, позволяет преодолевать расстояния и экономить время на передачу распоряжений и отчётов, необходимых для контроля за производственными процессами.

Развитие автоматик и телемеханики началось с создания простейших приспособлений, играющих роль измерительных или управляющих приборов, которые вначале использовались как средства забавы или религиозного культа. В дальнейшем развилась техника измерения времени с многочисленными разновидностями часов, в которых иногда имелись хитроумные механизмы для автоматического согласования и соподчинения различных действий.

В древние и средние века было создано много автоматических устройств, в которых использовалось вытекание воды через малое отверстие.

Проблема регулирования скорости вытекания воды через отверстия в сосудах занимала многих учёных.

Ньютон, Галилей и другие учёные решали задачу о форме сосуда, которая обеспечивала бы равномерное вытекание из него воды.

Насколько важное значение придавалось этой проблеме, видно хотя бы из того, что Французская Академия наук в 1725 г. объявила конкурс на лучшее решение этой задачи. Премию по этому конкурсу получил член Российской Академии наук Даниил Бернулли, уравнения которого широко известны в гидравлике. Таким образом, и в этот период времени развитие автоматике характеризуется применением законов гидростатики и гидродинамики.

Механические часы были изобретены, повидимому, в XI веке, устройство их было несложно. На горизонтально укрепленный вал наматывалась длинная верёвка с гирей на конце. Верёвка разматывалась и от этого вращался вал. Вращение вала передавалось через систему зубчатых колёс храповому колесу (колесо с косыми зубьями). Храповик был снабжён примитивным регулятором, состоящим из металлического бруска с тяжёлыми чугунными шарами на концах и двумя лопатками. Лопатки, расположенные под прямым углом, задевали за зубцы храпового колеса и заставляли его вращаться более или менее равномерно.

В конце XV века колёсные часы уступили место часам с пружинным заводом. Падающий груз был заменён пружиной, но устройство, регулирующее раскручивание заведённой пружины, оставалось всё ещё довольно несовершенным, грубым и не обеспечивало точного хода часов.

В XVII веке был изобретён маятник. Благодаря работам голландского физика и математика Гюйгенса, впервые применившего в часах маятник, часы с пружинным заводом были усовершенствованы.

Маятник обладает свойством сохранять постоянство периода колебаний при небольших амплитудах качания. Постоянство периода колебаний маятника позволяет сохранять постоянство хода механизма независимо от моментов поступления энергии и широко используется в современных часах всех систем и в различных других механизмах.



Устройства, использующие действие раскручивающейся пружины и маятник как регулятор, применялись уже и в то время не только как часовые механизмы. Они были использованы, например, для автоматического вращения труб телескопов в астрономических обсерваториях.

В часах применялись также регулирующие устройства, называемые балансами, представляющие разновидность маятника.

Регулятор скорости хода часов—баланс—не давал большой точности. Изменения температуры окружающей среды влияли на правильную работу баланса. При повышении температуры колесо баланса расширялось, увеличивалось в размерах. Его колебания становились медленнее, и часы начинали отставать. При понижении температуры окружающей среды получалось наоборот—часы уходили вперёд.

Жизнь настоятельно требовала создания более точных автоматических механизмов для измерения времени. Особенно большие требования предъявляло к технике часового дела XVIII века развивающееся мореплавание.

После долгих исканий был найден способ увеличения точности хода часов при помощи биметаллических элементов. Миниатюрная биметаллическая пластинка из стали и меди была установлена в часах. Конец пластинки был скреплён с волоском баланса часов. При повышении температуры биметаллическая пластинка изгибалась, так как медь расширялась больше, чем сталь. Изгибаясь, пластинка воздействовала на волосок баланса часов. Это приводило к тому, что движение баланса ускорялось. Часы начинали выравнивать свой ход. Происходила, как говорят, компенсация температурного влияния.

Принцип биметаллических регуляторов до сих пор успешно применяется во многих современных аппаратах и приборах.

Мы взяли простой пример—часы. Но пример этот характерен, ибо часы, как указывал Карл Маркс, «являются первым автоматом, созданным для практических целей... в XVIII веке часы впервые подали мысль применить автоматы (и в частности заводные, пружинные) к производству»<sup>1)</sup>.

---

<sup>1)</sup> К. Маркс и Ф. Энгельс, Соч., т. XXIII, стр. 131, 1930.

Многие талантливые механики в России занимались решением задач механизации и автоматизации.

Промышленная техника XVII века ограничивалась пружинными, ветряными и водяными двигателями. Русские пионеры автоматики сумели использовать эти крайне небольшие возможности для создания оригинальных полуавтоматических и автоматических устройств для облегчения труда человека.

Так, например, «новгородские люди», братья Осип и Фёдор Баженины, жившие в XVII веке в г. Архангельске, разработали и построили полуавтоматический механизм для распиловки древесины. Водяной привод в сочетании со сложной системой пил, оборудованных полуавтоматическими и автоматическими регулирующими устройствами (подача бревна, установка необходимых размеров досок, поддержание равномерной скорости движения пил и т. д.), дал возможность освободить от тяжёлого физического труда сотни людей, работавших вручную.

Яркой фигурой в истории развития автоматики является выдающийся русский механик Иван Иванович Ползунов, живший в XVIII веке (1728—1766).

И. И. Ползунов стремился освободить промышленность от прихотей природы и противопоставить водяным колёсам и ручному труду новую небывалую машину, названную им «огнедействующей». «Я должен,—писал И. И. Ползунов,—все возможные труды и силы на то устремить, коим бы образом огонь слугою к машинам склонить». В результате упорных трудов Ползунов создал свою огнедействующую машину, способную «пресечь водяное руководство», заставив огонь «по воле нашей, что будет потребно, исправлять». Двухцилиндровая, пароатмосферная машина Ползунова, построенная им в 1763 г., за 21 год до англичанина Д. Уатта, позволяла приводить в движение разнообразные установки.

В 1765 г. Ползунов снабдил свою «огнедействующую машину» им же изобретённым автоматическим регулятором, посредством которого «вода, пар и огонь сами себя в движении держали».

Регулятор Ползунова, основанный на применении поплавка, автоматически поддерживал уровень воды в

паровом котле. Когда уровень воды в котле понижался ниже нормального, то поплавок опускался и открывал клапан, впускающий воду в котёл. Когда уровень воды превышал норму, поплавок полностью перекрывал клапан и вода переставала поступать в котёл.

К числу выдающихся работ в области автоматики относятся также системы автоматического парораспределения «сухопутного парохода» Ефима Алексеевича и Мирона Ефимовича Черепановых, построивших в 1834 г. на Урале первый в России паровоз. Паровоз Черепановых ходил по «колёсопроводам» (рельсам) протяжённостью в 800 метров. Он перевозил около трёх с половиною тонн груза со скоростью до 15 километров в час.

В 1835 г. об этом паровозе писали: «Обратное движение машины, без поворота, производится ныне переменою впуска паров в другую сторону, действием эксцентрического колеса, приводящего в движение паровые золотники...». Вскоре Черепановы построили второй паровоз, значительно большей мощности, чем первый. Он мог перевозить до 17 тонн груза. Система автоматического парораспределения в этом паровозе была ещё более совершенной.

Описанные выше изобретения в области механизации и автоматизации в XVII и XVIII веках не были единичным явлением и применялись не только к паровым машинам и к транспортным устройствам.

К числу выдающихся работ в области механизации и автоматизации относятся работы талантливого русского гидротехника Козьмы Дмитриевича Фролова (1728—1800), сына уральского рабочего. К. Д. Фролов создал целый ряд механизированных горных предприятий, которые являются прообразом современных заводов-автоматов.

К. Д. Фролов стремился к механизации трудоёмких процессов, к созданию огромных горно-металлургических предприятий, где целая система машин и транспортных средств действовала бы от одного или нескольких центральных водяных двигателей, т. е. к комплексной автоматизации производства. Эти свои необыкновенно смелые по тому времени замыслы он, несмотря на все препятствия и трудности, во многом претворил в жизнь, далеко опередив современные ему достижения зарубежной техники.

Один из учеников К. Д. Фролова—К. Ушаков—создал на Алтае замечательные автоматизированные гидротехнические сооружения.

Идеи механизации и автоматизации зарождались в умах русских новаторов техники и претворялись ими в жизнь в самых различных отраслях промышленности. Например, в горячей металлообработке были механизированыковка металла и дутьё. Один из таких механизированных металлообрабатывающих заводов, называвшихся в XVII веке «молотовыми анбарами», был построен в г. Туле.

В XIX веке в связи с ростом машиностроения автоматика в России стала интенсивно развиваться, причём, помимо чисто практических задач, были выполнены научные работы большой важности. Роль русских учёных в разработке теоретических основ автоматике исключительно велика.

Один из крупнейших русских математиков—Пафнутий Львович Чебышев (1821—1894)—посвятил много трудов исследованию работы механизмов и машин, применяющихся в автоматических устройствах.

Особенное внимание в своих работах П. Л. Чебышев уделял вопросам теории шарнирных механизмов и в частности таких, которые превращали круговое движение в прямолинейное. Он решил задачу о приближённо-прямолинейном движении и создал ряд новых конструкций автоматических механизмов. К ним относятся механизмы с изменяющимся передаточным отношением между ведущим и ведомым валами, механизмы с остановками, сложный шарнирный механизм, названный стопоходящей машиной, выпрямляющие механизмы и другие.

Работы П. Л. Чебышева в области теории механизмов с успехом используются и развиваются в настоящее время.

Ученик П. Л. Чебышева знаменитый русский математик Александр Михайлович Ляпунов (1857—1918) своими работами по решению задачи устойчивости движения во многом способствовал развитию отечественной науки об автоматике.

Работы одного из крупнейших механиков конца XIX и начала XX века Ивана Всеволодовича Мещерского (1859—1935) по созданию основ механики тел переменной

массы в большой степени способствовали развитию отечественной автоматики как науки и позволили усовершенствовать целый ряд автоматических машин и механизмов в ткацком, типографском, бумагоделательном и других производствах.

Иван Алексеевич Вышнеградский (1831—1895) является основоположником теории автоматического регулирования. Его работа о регуляторах прямого действия оказала огромное влияние на развитие теории регулирования.

До Вышнеградского работу регулятора рассматривали вне связи с машиной. Вышнеградский решил задачу автоматического регулирования в связи с действительными условиями работы, учитывая взаимодействие машины и регулятора, а также действие сил инерции и трения.

Выдающиеся русские учёные Николай Егорович Жуковский (1847—1921) и Алексей Николаевич Крылов (1863—1945) своими замечательными работами также способствовали созданию автоматики как науки. Они вместе с А. М. Ляпуновым положили начало теории устойчивости движения, а также теории различных автоматических приборов. Академиком А. Н. Крыловым было построено автоматическое счётно-решающее устройство.

Изобретатель самолёта капитан Александр Фёдорович Можайский (1825—1890) оснастил его им же сконструированными автоматическими приборами для измерения высоты, скорости полёта и т. д. В дальнейшем эти приборы были усовершенствованы и вошли в практику самолётостроения.

Первый в мире электрический дифференциальный регулятор для автоматического поддержания расстояния между углями в дуговых лампах изобрёл в 1869 г. выдающийся русский инженер Владимир Николаевич Чиколса (1845—1898). Им же в 1872 г. был изобретён первый в мире электрический привод к машине.

Изобретатели электрической сварки Николай Николаевич Бенардос (1842—1905) и Николай Гаврилович Славянов (1854—1897) на своих сварочных агрегатах применили автоматические регулирующие устройства для управления процессом сварки.

Русскому учёному профессору физики Московского государственного университета Александру Григорьевичу Столетову (1839—1896) принадлежит открытие одного

из прототипов фотоэлемента, ставшего впоследствии важным техническим средством автоматики.

В области телемеханики роль русских учёных была также велика. Петербургским учёным Павлом Львовичем Шиллингом в 1832 г. был изобретен телеграфный мультипликатор, безупречно работавший в им же изобретённом и сконструированном телеграфном аппарате.

Другой петербургский учёный, прославившийся работами в области электродвижения судов, Борис Семёнович Якоби (1801—1874) создал ряд записывающих и буквопечатающих телеграфных аппаратов и вместе с академиком Э. Х. Ленцем построил регулятор напряжения—агометр.

Военный связист капитан Г. Г. Игнатъев в 1880 г. разработал способ одновременной передачи по одной линии связи телеграфных сигналов и телефонного разговора, создав фильтр, состоящий из электрического конденсатора и катушки индуктивности. Таким образом, Г. Г. Игнатъев положил начало избирательному включению и уплотнению каналов связи. Идея Игнатьева получила дальнейшее развитие в трудах Е. И. Гвоздева, который в 1887 г. с помощью электрических фильтров добился одновременной передачи по телеграфному проводу не одного, а многих телефонных разговоров.

В 80-х годах прошлого столетия инженер К. А. Мосцицкий разработал первую в мире автоматическую телефонную станцию. В 90-х годах русский изобретатель Апостолов разработал автоматическую телефонную станцию на 10 000 номеров.

В 1895 г. великий русский учёный Александр Степанович Попов (1859—1906) создаёт первую в мире линию радиосвязи. В дальнейшем А. С. Попов совместно со своим помощником Рыбкиным открывает явление отражения электромагнитных волн от металлических поверхностей, впоследствии нашедшее применение в радиолокационных установках. Изобретение радио явилось основой развития радиотелемеханики.

Приведённые выше примеры характеризуют большую роль русских учёных и изобретателей в развитии автоматики и телемеханики.

Особенно больших успехов в развитии автоматики и телемеханики добились советские учёные и инженеры в период строительства коммунизма.

По мере развития науки и техники мускульная сила человека заменялась силой движущейся воды, пара и, наконец, электричества. Электродвигатель заменил собой мускульные усилия человека, работающего на машине-станке. Машина-орудие и машина-двигатель слились в гармоническое целое. Однако функции управления вначале оставались за человеком. Но и их постепенно человек переложил на устройства автоматики и телемеханики.

Многие машины стали изготавливать предметы без непосредственного участия человека, превратившись в автоматические машины.

Автоматические машины и механизмы могут работать гораздо быстрее человека: во многих современных установках скорость работы столь велика, что человек не в состоянии уследить за ходом процесса и заметить его нарушения. Прежде чем человек успеет заметить неполадки, автоматические устройства выправят положение, а нарушение режима работы запишут на специальной бумажной ленте. Некоторые производственные процессы вообще недоступны для человека, и выполнение их возможно только при условии применения средств автоматики и телемеханики.

- Автоматическая аппаратура повышает качество работы машин-орудий, избавляет рабочих от напряжённого труда и повышает производительность труда.

Машины-автоматы могут быть двух видов. Одни из них управляются по заранее установленной программе и на изменения условий работы никак не реагируют. Они называются циклическими автоматами. Машины второго вида обладают способностью перестраиваться, учитывая изменения внешних условий. Иногда их называют рефлекторными автоматами.

В качестве примера машины первого вида можно привести полиграфическую машину линотип, автоматически набирающую и отливающую целые строчки типографского шрифта, или станок, называемый револьверным автоматом.

Механизм линотипа управляется стальными кулачками—эксцентриками, сидящими на распределительном валу, приводимом в движение электродвигателем.

Такие же распределительные валы с кулачками управляют движением различных сложных механизмов металлоорежущего револьверного автомата.

Такие машины, как линотип или револьверный автоматический станок, не могут изменить ни заданного темпа, ни режима работы. Они работают по заранее заданной программе. Для того чтобы заменить одну программу другой, необходимо произвести перенастройку машин, применив кулачки другой формы.

В качестве примера автомата второго вида можно привести паровой котёл с поплавковым регулятором уровня воды. Поплавок является чувствительным элементом, который следит за поддержанием постоянного уровня воды в котле. При повышении или понижении уровня поплавков посредством тяг воздействует на кран, открывая или закрывая его. Кран в данном случае является исполнительным органом.

Регуляторы, основанные на принципе непосредственного воздействия чувствительных элементов на исполнительные органы, обычно именуются регуляторами прямого действия. Между чувствительным элементом—поплавком—и исполнительным органом—краном или клапаном—можно установить промежуточные усилительные устройства и воспользоваться вспомогательной энергией сжатого воздуха, масла под давлением или электрического тока. Так получается регулятор непрямого действия.

Современные автоматические устройства в большинстве случаев состоят из чувствительных элементов или датчиков, усилителей и исполнительных органов. Иногда необходимы бывают реле, осуществляющие скачкообразное изменение состояния измерительных или управляющих цепей.

Действие чувствительных измерительных элементов основано на различных физических явлениях. Некоторые из них реагируют на перемещение, другие—на скорость перемещения, ускорение, усилие, температуру, влажность, электрическое сопротивление, световой поток и т. д.

Чувствительные элементы воспринимают физические или химические величины и воздействуют на усилители, которые в свою очередь управляют работой исполнительных органов.

Усилительные устройства бывают пневматическими (сжатый воздух), гидравлическими (масло или вода под



давлением), электромагнитными, электронными и другими.

В зависимости от функций, выполняемых автоматическими приборами, различают устройства: автоматической сигнализации, автоматического контроля, автоматической блокировки и защиты, автоматического регулирования и автоматического управления.

Устройства автоматической сигнализации подают световой, акустический или какой-либо другой сигнал обслуживающему персоналу при недопустимом изменении какой-либо контролируемой величины: температуры, влажности, перемещения и т. д. По этому сигналу обслуживающий персонал вмешивается в работу установки, регулируя её так, как это требуется ходом технологического процесса.

Устройства автоматического контроля заканчиваются указывающим или регистрирующим прибором, по показаниям которого персонал, обслуживающий установку, производит те или иные действия, приводя её работу в соответствие с заданными условиями.

Устройства автоматической защиты следят как за исправностью установки, так и за правильностью её работы. В случае неисправности или превышения предельного значения физических величин защитные автоматы частично или полностью прекращают работу установки. Так, например, при неожиданной перегрузке электродвигателя, когда возросший выше предельного значения ток угрожает целостности изоляции обмоток, автомат защиты немедленно отключает двигатель или снимает с него часть нагрузки.

Автоматические устройства осуществляют не только контроль и защиту, но также регулирование и управление установками без непосредственного участия человека. Они либо поддерживают течение процесса в заданном режиме (автоматическое регулирование), либо автоматически изменяют режим работы установки по необходимому закону (автоматическое управление).

К видам автоматизации относится также автоматическое выполнение вычислительных операций. Соответствующие устройства, называемые счётно-решающими, производят без непосредственного участия человека математические действия сложения, умножения, дифференцирования, интегрирования и т. д.

Особенно важную роль играет комплексная автоматизация машин и процессов, заключающаяся в объединении всех видов частичной автоматизации контроля, регулирования, управления, вычисления и т. д. в единую систему, обеспечивающую правильное течение запланированного сложного процесса, под контролем, но без непосредственного участия в нём человека.

Когда установки и пункты управления разделены большими расстояниями, то необходимы бывают дополнительные устройства. Эти устройства, называемые телемеханическими, вырабатывают, посылают и принимают сигналы измерения и управления, способные преодолевать большие расстояния без нарушения правильности сообщений и с экономным использованием каналов связи.

В зависимости от назначения различают устройства: телесигнализации, телеконтроля, телезащиты, телеуправления и телерегулирования.

---

# ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

## ЭЛЕМЕНТЫ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

Устройства автоматики и телемеханики состоят из различных элементов, которые можно разделить на четыре основные группы:

1. Чувствительные элементы и датчики.
2. Реле и переключатели.
3. Усилители.
4. Исполнительные устройства и двигатели.

При помощи чувствительных элементов и датчиков производится измерение физических и химических величин, характеризующих производственный процесс или работу машины.

Реле и переключатели применяются в тех случаях, когда необходимо производить включение или переключение цепей измерения и управления.

Усилители являются промежуточными элементами и служат для усиления полученных при измерении сигналов, с тем чтобы можно было привести в действие мощные исполнительные устройства.

Посредством двигателей и исполнительных устройств производится изменение производственных процессов или контроль.

### Глава I

#### ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ДАТЧИКИ

Чувствительными элементами называются устройства, которые воспринимают непосредственно от объекта какие-либо физические или химические величины и преобразуют их в другие величины, более удобные для использования в автоматических системах.

С. Д. Клементьев

1549/13

В П

17

ГОС. ПУБЛИЧНАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
БИБЛИОТЕКА СССР

59

~~СМЕЛЫЙ~~

Преобразование величин здесь нужно понимать условно. В действительности преобразуется энергия, характеризующаяся теми или иными величинами.

Так, например, при помощи фотоэлемента световая энергия преобразуется в электрическую энергию. Однако условно говорят, что при помощи фотоэлемента значение светового потока (первая величина) преобразуется в значение электрического тока (вторая величина). Между этими двумя величинами должна существовать точная и заранее известная зависимость.

В автоматике и телемеханике обычно пользуются двумя основными величинами, в которые стремятся преобразовать все другие величины. Это—механическое перемещение и электрическое напряжение.

Устройства, при помощи которых различные величины преобразуются в механическое перемещение, называются механическими чувствительными элементами. Устройства, при помощи которых различные величины преобразуются в электрическое напряжение, называются электрическими чувствительными элементами.

Большинство механических чувствительных элементов заимствовано от измерительных приборов, в которых, как известно, измеряемые величины преобразуются в перемещения указывающих стрелок.

К механическим чувствительным элементам относятся, например, манометрическая пружина, центробежный механизм тахометра, механизм гироскопа, ртутный и дилатометрический термометры, жидкостный манометр, механические виброметры и акселерометр, поплавковые устройства и т. д.

Датчиками называются устройства, которые воспринимают перемещения подвижных частей каких-либо измерительных приборов и преобразуют их в электрические величины. Таким образом, датчики являются вторичными преобразователями.

В последнее время в целях упрощения терминологии всё чаще начинают пользоваться одним общим термином «датчик», относя его как к чувствительным элементам, так и к собственно датчикам. Это оправдывается тем, что во многих случаях механические чувствительные элементы органически связываются с электрическими датчиками, а электрические чувствительные элементы имеют сходство с датчиками, так как и те и другие

служат для преобразования неэлектрических величин в электрические.

Большинство электрических чувствительных элементов и датчиков представляет собой электрические сопротивления, генераторы и компенсаторы, управляемые различными неэлектрическими воздействиями. Эти три группы датчиков соответствуют трём различным методам преобразования измеряемых величин.

Первый метод, связанный с применением электрических сопротивлений, может быть пояснён схемой рис. 1. Неэлектрическое воздействие  $\Phi$  (сила, температура, радиация) вызывает изменение электрического сопроти-

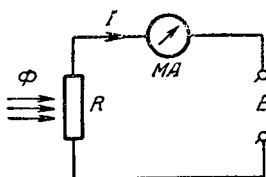


Рис. 1. Схема датчика типа электрического сопротивления.

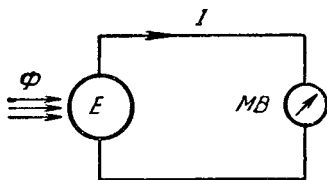


Рис. 2. Схема датчика типа электрического генератора.

вления  $R$ . Вследствие этого изменяется ток  $I$  в электрической цепи, питаемой стабилизированным источником напряжения  $E$ . Этот ток измеряется миллиамперметром  $МА$ .

Второй метод, основанный на использовании электрических генераторов, иллюстрируется схемой рис. 2. Неэлектрическое воздействие  $\Phi$  в самом датчике  $E$  преобразуется в электрическое напряжение, которое измеряется милливольтметром  $МВ$ . В этом случае вспомогательный источник электрической энергии отсутствует.

Наконец, третий, компенсационный, метод показан на схеме рис. 3.

Неэлектрическое воздействие  $\Phi$  при помощи органа  $H$  сравнивается со вспомогательным (компенсирующим) неэлектрическим воздействием  $\Phi_n$ , которое получается от преобразователя  $\Pi$  электрической энергии в энергию вида  $\Phi$ .

При измерении механической силы преобразователь  $\Pi$  представляет собой электромагнит, в случае измерения температуры—электронагреватель, а при измерении освещённости—электрическую лампу.

Таким образом, компенсационный метод преобразования характеризуется тем, что за счёт вспомогательной электрической энергии источника  $E$  искусственно создаётся воздействие  $\Phi_K$ , подобное измеряемому неэлектрическому воздействию  $\Phi$ . Если эти два воздействия уравновешены (компенсированы), то величина измеряемого воздействия  $\Phi$  будет представлена электрическим током  $I$  и может быть измерена миллиамперметром  $MA$ . Ток  $I$ , а следовательно, и компенсирующее воздействие  $\Phi_K$ ,

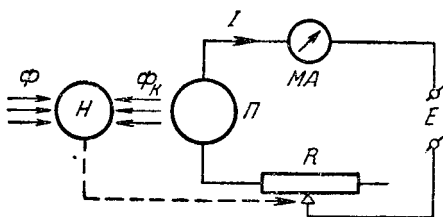


Рис. 3. Схема датчика типа компенсатора.

автоматически регулируется реостатом  $R$ , связанным со сравнивающим органом  $H$ . Значение измеряемой величины может быть прочитано по показаниям миллиамперметра  $MA$  или по положению щётки реостата  $R$ .

### Чувствительные элементы и датчики первой группы

Простейшим электрическим датчиком является э л е к т р и ч е с к и й к о н т а к т, который можно представить как предельный случай электрического сопротивления, изменяющегося скачком от нуля до бесконечности.

При помощи контактных датчиков, соединённых с силовыми или измерительными механизмами, осуществляется сигнализация предельных состояний, передача импульсов учёта количества продукции и релейное управление.

Кроме того, контактные датчики можно использовать для целей измерения и телеизмерения, связав их с первичными измерительными приборами так, чтобы результат измерения отображался числом, кодом, длительностью или частотой электрических импульсов.

Более широкие возможности предоставляются устройствами с плавно изменяющимся электрическим сопротивлением.

Для изготовления электрических датчиков используются сопротивления восьми видов: проводниковые, полупроводниковые, жидкостные, газовые, вакуумные (электронные), ёмкостные, индуктивные и взаимоиндуктивные.

Металлические проводники обладают свойствами тензочувствительности, т. е. чувствительности к механическим воздействиям и деформациям, и термочувствительности. Кроме того, реостаты из металлических проводников являются датчиками, чувствительными к механическим перемещениям.

Реостатные или, как их ещё называют, потенциметрические датчики служат для преобразования угловых или линейных перемещений в соответствующие токи или напряжения. Реостатные датчики часто совмещаются с механическими чувствительными элементами или со стрелочными измерительными приборами.

Большое распространение получили реостатные датчики в виде плоских или цилиндрических (рис. 4) каркасов, несущих обмотку 1 из константановой или платино-иридиевой проволоки диаметром  $0,05 \div 0,1$  мм. Рабочая поверхность обмотки 1 защищена от изолирующей эмали и хорошо отполирована. По этой поверхности скользят лёгкие контактные щётки 2, сделанные из проволоки толщиной 0,2 мм.

Для присоединения обмотки к источнику питания и другим элементам схемы сделаны выводы 3. Щётки 2 укреплены на держателе 4 и имеют электрическую связь со стержнем 6 через держатель 4 и плоскую пружину 5. Движение от измерительного механизма передаётся дер-

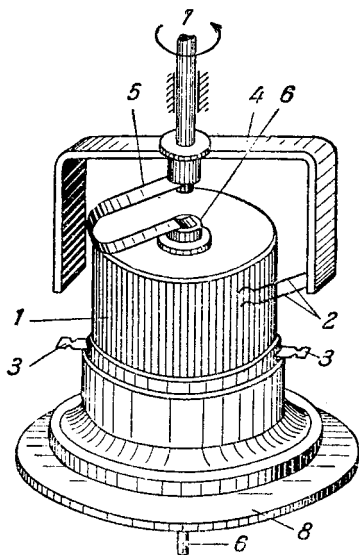


Рис. 4. Реостатный датчик.

жателю щёток посредством оси 7. Обмотка датчика укрепляется в обойме 8.

Реостатные датчики выполняются и в других видоизменениях. Применяются, например, устройства, в которых изменение сопротивления обусловливается перемещениями капли или столба ртути. В последнем случае используется изменение электрического сопротивления ртути.

Тензочувствительные элементы обычно изготавливаются из тонкой константановой, нихромовой или элинваровой проволоки. Электрическое сопротивление этих проволок изменяется при приложении механических нагрузок. Причиной этого является не только изменение площади поперечного сечения и длины проволоки, но также и изменение удельного сопротивления материала.

Чувствительные элементы этого типа в настоящее время делают в виде плоских элементов, состоящих из двух склеенных слоёв тонкой бумаги и петлеобразно расположенной между ними проволоки или же в виде пучка свободных проволок, петли которого располагаются в пространстве как угодно. В первом случае чувствительные элементы наклеиваются на испытываемые детали или пружины различных измерительных приборов, а во втором случае пучки проволоки закрепляются в держателях, через которые передаются измеряемые усилия.

При наклеивании чувствительного элемента на балку или на любую другую испытываемую под нагрузкой деталь он работает как тензометр, т. е. как прибор, измеряющий механические напряжения. Можно использовать пружинные элементы с заранее известными механическими характеристиками, наклеить на них тензочувствительные элементы и применять для измерения сил, давлений, ускорений, перемещений, вибраций и т. д.

Не менее разнообразны случаи применения свободных (не наклеенных) тензочувствительных проволок. Известны тензометры, динамометры, манометры, вакуумметры, акселерометры (т. е. приборы, измеряющие ускорение), тахометры, виброметры и другие приборы, в которых в качестве преобразователей неэлектрических величин в электрические служат свободно, без наклеивания, натянутые петли тензочувствительных проволок.



На рис. 5 в качестве примеров приведены варианты электрических акселерометров с наклеенными (рис. 5, а) и свободными (рис. 5, б) тензочувствительными проводочными датчиками. На рис. 5, в показана схема включения датчиков. В рассматриваемых примерах акселерометров измеряется вертикальное ускорение заштрихованных оснований приборов *I*. Механическим чувствительным элементом является масса *m*, которая стремится сохранить своё положение в пространстве. При ускорениях между основанием прибора *I* и массой *m* развивается сила, пропорциональная величине массы и ускорению.

В первом случае (рис. 5, а) эта сила изгибает плоскую пружину 2, на которой наклеены датчики  $R_1$  и  $R_2$ . При изгибании пружины вниз петли верхнего датчика растягиваются, а нижнего — сжимаются; при изменении направления действия силы происходит обратное явление. Противоположное изменение сопротивлений датчиков используется в мостовой схеме рис. 5, в для увеличения вдвое чувствительности измерения, а также для устранения температурных влияний.

Во втором случае (рис. 5, б) масса *m* подвешена к основанию прибора *I* на свободных тензочувствительных проволоках  $R_1$  и  $R_2$  при помощи изолированных шпилек 3. Для предупреждения горизонтальных колебаний и перекосов масса *m* дополнительно связывается с основанием прибора при помощи плоской пружины, расположенной позади массы *m* и на чертеже не показанной. Эта пружина в процессе измерения не участвует. Развивающие усилия

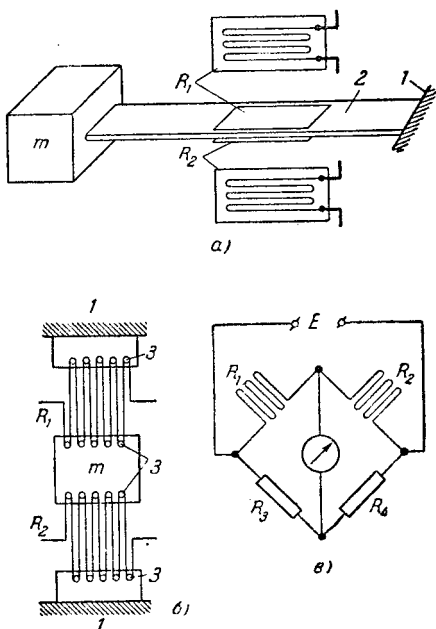


Рис. 5. Проволочные тензодатчики.

непосредственно воспринимаются тензочувствительными проволоками датчиков  $R_1$  и  $R_2$ . Деформации и изменения сопротивлений датчиков  $R_1$  и  $R_2$  также получают различных знаков, и поэтому их поведение в схеме рис. 5, а ничем не отличается от предыдущего.

Для приблизительной оценки эффекта тензочувствительности тонкой проволоки из константана можно считать, что при начальной длине проволоки в один метр и при начальном общем сопротивлении её в сто ом нагрузка, вызывающая изменение длины проволоки на один миллиметр, соответствует изменению сопротивления проволоки на 0,2 ома. Отсюда можно заключить, что в электрической части таких устройств должны быть применены либо гальванометры высокой чувствительности, либо усилители с необходимой последующей аппаратурой.

Кроме тензочувствительности, многие металлы обладают свойством термочувствительности. К таким (термочувствительным) металлам относятся, например, платина, никель, медь и железо. Это свойство используется в термометрах сопротивления, которые представляют собой куски термочувствительных проволок или лент, навитые на каркасы из изоляционных материалов и заключённые в предохранительные чехлы.

В то же время известно, что температура может характеризовать мощность радиации, физико-химические параметры окружающей среды, скорость движения термометра относительно среды, положение термометра относительно источника или поглотителя тепла. Поэтому кроме собственно термометров сопротивления были созданы другие измерительные приборы, существенными частями которых являются термочувствительные электрические сопротивления. К таким приборам относятся болометр, конвектометр, анемометр, расходомер, газонализатор, вакуумметр, тепловой локатор и тепловой микрофон.

Названные приборы можно разделить на две группы. К первой группе относятся приборы, в которых термочувствительные сопротивления воспринимают тепло извне и для которых неизбежное при измерениях протекание электрического тока по термочувствительным сопротивлениям является вредным, так как это вызывает дополнительный приток тепла изнутри (термометр, болометр, локатор). Ко второй группе относятся приборы, в кото-

рых термочувствительные элементы, обтекаемые током, являются полезными генераторами тепла, а измеряемые параметры характеризуются условиями теплорассеяния (конвектометр, газоанализатор, вакуумметр, тепловой микрофон).

Два представителя этих групп термометр и газоанализатор показаны на рис. 6.

Электрический термометр сопротивления (рис. 6, а) имеет одну термочувствительную бифилярную обмотку  $R$ , укреп-

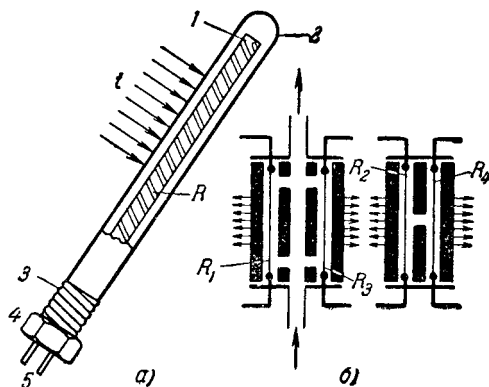


Рис. 6. Термочувствительные датчики.

лённую на каркасе 1 из изоляционного материала и помещённую в защитную металлическую трубку 2. Трубка при помощи резьбы 3 закрепляется в крышке или стенке теплового аппарата. В головке 4 концы обмотки присоединяются к контактным ножкам 5, от которых делается проводка к измерительной схеме. С некоторым запаздыванием обмотка принимает температуру среды и соответственно изменяет сопротивление.

Электрический анализатор содержания двуокси углерода ( $\text{CO}_2$ ) в дымовых газах имеет четыре термочувствительных сопротивления:  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  (рис. 6, б), которые включаются в мостовую схему. Два сопротивления,  $R_1$  и  $R_3$ , находятся в среде охлаждённого анализируемого газа, два других,  $R_2$  и  $R_4$ , — в воздухе. Эти сопротивления представляют собой тонкие платиновые проволоочки, натянутые в каналах массивных металлических блоков, хорошо отводящих тепло. Проволочки нагреваются до

температуры около  $100^{\circ}\text{C}$  протекающим по ним измерительным током и отдают тепло через слой газа и воздуха стенкам металлических блоков. В зависимости от теплопроводящих свойств газа изменяется разность сопротивлений  $R_1-R_2$  и  $R_3-R_4$ , что вызывает отклонения стрелки измерительного прибора в схеме моста. Воздух имеет постоянную теплопроводность и является эталонным газом. Применением четырёх сопротивлений достигается увеличение чувствительности прибора и уменьшение влияния температуры внешней среды.

Полупроводниковые сопротивления также используются для изготовления чувствительных элементов и датчиков.

Реостатные датчики с полупроводниками применяются редко, так как полупроводники менее прочны и стабильны, чем металлические проводники.

Тензометрические свойства полупроводников используются более широко. Чувствительность их примерно в сто раз больше, чем металлических.

Отношение относительного изменения сопротивления к относительному изменению длины, т. е. чувствительность преобразователя для некоторых образцов полупроводниковых элементов, равно 200, а это же отношение для проводникового (константанового) тензочувствительного элемента равно только 2.

К полупроводниковым элементам, реагирующим на механические силы, относятся микрофоны с угольным порошком или угольными зёрнами, измерители усилий в виде столбиков из угольных пластин, тензометры из пластических углеродистых композиций (тензолитов), тензометрические элементы из полупроводников типа купросов, сульфидов и селенидов.

Изменение электрического сопротивления полупроводниковых тензочувствительных элементов обуславливается главным образом изменением контактных сопротивлений соприкасающихся между собой частиц полупроводникового материала.

Полупроводники обладают также термочувствительностью.

Все металлы обладают положительным температурным коэффициентом, т. е. при нагревании сопротивление их увеличивается. Полупроводники могут обладать как положительным, так и отрицательным температурным

коэффициентом, причём наибольшее значение в технике имеют полупроводники с отрицательным температурным коэффициентом. К ним относятся так называемые термисторы, которые делаются из окиси меди (купроксы), двуокиси урана (урдоксы), а также из некоторых сернистых, азотных и углеродистых соединений металлов.

Полупроводники, реагирующие на световую радиацию, называются фотосопротивлениями. К таким полупроводникам относятся селен, сернистый таллий (таллофид), сернистый свинец, сернистый висмут, кремний и другие. Таким образом, полупроводники обладают свойством светочувствительности и могут быть использованы как фотоэлементы.

Обратимся к жидкостным (электролитическим) чувствительным элементам и датчикам.

Жидкостные элементы с подвижными электродами или с изменяющимся объёмом электролита между электродами могут служить в качестве преобразователей механических перемещений в пропорциональные величины электрического тока или напряжения. Такие преобразователи применяются в тензомерах, микрометрах, уровнемерах, динамометрах, указателях вертикали (маятниках), указателях курса (компасах) и других приборах.

В качестве электролитов применяются стойкие жидкости, например смесь воды, глицерина и салициловой кислоты, раствор азотнокислого свинца и другие.

На работу жидкостных датчиков большое влияние оказывают изменение температуры электролита и процесс электролиза. Сопротивление электролитов понижается на 2—2,5% при изменении температуры на 1° Ц. Поэтому возникает необходимость либо стабилизации температуры, либо применения автоматических корректирующих схем и устройств. Процесс электролиза исключается применением переменного тока (50—500 гц). Следует отметить, что при высокой частоте (свыше 500 гц) становится значительным влияние электрической ёмкости жидкостного элемента.

Зависимость электрического сопротивления жидкостей от температуры можно использовать для создания электролитических термометров. Однако наличие других более стабильных преобразователей препятствует широкому распространению таких термометров.

Некоторый интерес представляет свойство солей резко изменять электрическое сопротивление при переходе от твёрдого состояния в жидкое и наоборот. Это свойство использовано для постройки автоматических сигнализаторов и регуляторов температуры. Чувствительный элемент в этих устройствах выполняется в виде сосуда, в котором находятся два платиновых электрода и смесь из солей и других химических соединений, плавящихся при определённой температуре. Сопротивление смеси резко уменьшается при расплавлении её.

Жидкостные сопротивления часто используются для контроля собственных свойств жидкостей (электролитов). На этом, в частности, основан широко распространённый метод кондуктометрического анализа жидких растворов. При растворении любого вещества в жидком растворителе молекулы этого вещества распадаются (диссоциируют) на положительно и отрицательно заряженные частицы—ионы, причём положительными всегда являются ионы водорода и металлов, а отрицательными—все другие ионы. Наличие электрически активных частиц обуславливает электропроводность растворов, так как при приложении к слою раствора разности потенциалов от внешнего источника начинается движение разнозначных ионов к соответствующим электродам. Электропроводность растворов пропорциональна степени диссоциации, подвижности ионов и концентрации ионов, т. е. тем факторам, которые характеризуют данное вещество. Поэтому по электропроводности растворов, учитывая размеры слоя и влияние температуры, можно судить о природе и количестве растворённых веществ.

Собственные свойства жидкостных сопротивлений могут быть показателем не только качества и количества содержащихся в растворах веществ, но и некоторых внешних факторов, влияющих на условия растворения. Так, например, известны электролитические гигрометры (измерители влажности), представляющие собой плёнки раствора хлористого лития, которые заполняют узкие спиральные щели между проволочными электродами, намотанными на стеклянные или металлические изолированные трубки. Электропроводность раствора хлористого лития при прочих равных условиях определяется дополнительным количеством растворителя, которым в данном случае является влага, поглощённая из окружающего воздуха.

Жидкостные сопротивления применяются также для полярографического анализа веществ, при котором используется явление поляризации.

Как известно, газ в обычном состоянии не содержит заряженных частиц и является изолятором. Обязательным условием электропроводности газа является его ионизация, которая может быть получена действием на молекулы газа электронов, радиоактивных излучений или космических частиц, электромагнитных колебаний (ультрафиолетовых и рентгеновских лучей) и высокой температурой.

Газовые сопротивления применяются для измерения скорости движения потоков воздуха и газов. Разработанные для этой цели устройства называются ионизационными анемометрами или анемометрами с тлеющим разрядом. Под действием достаточно большой разности потенциалов между двумя платиновыми электродами с промежутком в 0,1—0,2 мм создаётся равномерный тлеющий (но не искровой или дуговой) разряд. Воздушный или газовый поток влияет на условия продвижения ионизированных частиц к электродам. Внешне это воспринимается как изменение сопротивления разрядного промежутка. Отличительными особенностями такого анемометра являются высокая чувствительность и малая инерционность.

Газовые сопротивления используются также в качестве электрических манометров и вакуумметров. Измеряемое давление через трубку подводится к колбе, содержащей катод, сетку и анод—обычные элементы трёхэлектродной электронной лампы. Посредством раскалённого катода и обладающей положительным потенциалом сетки в некоторой области колбы создаётся электронный поток, вызывающий ионизацию молекул газа. Потенциал анода в свою очередь вызывает движение ионов, т. е. ионный поток и анодный ток. При постоянстве условий ионизации, электрических потенциалов и химического состава газа ионный поток и анодный ток пропорциональны количеству молекул газа, содержащихся в объёме колбы и, следовательно, пропорциональны величине разрежения или давления газа.

Газовые сопротивления широко используются в качестве измерителей радиации. Здесь следует различать два случая: а) электромагнитные колебания или  $\alpha$ - и  $\beta$ -частицы

непосредственно воздействуют на молекулы газа, находящегося внутри колбы, и вызывают ионизацию их; б) световой поток воздействует на фотокатод, что вызывает освобождение электронов, которые с свою очередь ионизируют молекулы газа. Первое явление используется в чувствительных элементах, называемых ионизационными камерами, счётчиками  $\alpha$ - и  $\beta$ -частиц. Второе явление используется в газонаполненных фотоэлементах с внешним фотоэффектом.

Ионизация молекул и атомов газа позволяет производить анализ веществ. На этом, в частности, основан принцип действия масс-спектрометров.

Вакуумные сопротивления с перемещающимися анодами или экранами в настоящее время применяются в качестве тензометров, микрометров, виброметров и акселерометров. Был построен также прибор с тремя ступенями преобразования: ток высокой частоты  $\rightarrow$  нагревание металлической нити  $\rightarrow$  деформация металлической нити и перемещение двух анодов вакуумного сопротивления относительно общего катода  $\rightarrow$  разность двух анодных токов. В таких приборах используется изменение анодного тока, происходящее вследствие изменения расстояния между анодом и катодом или прикрывания части электронного потока экраном. Внешние перемещения воспринимаются стержнем, проходящим через эластичную стеклянную или металлическую стенку колбы и передающим перемещения аноду или экрану. В случаях виброметра, акселерометра и теплового амперметра необходимость в передаче перемещений извне к внутренним элементам прибора отпадает.

Вакуумное сопротивление в виде вакуумного фотоэлемента с внешним фотоэффектом является распространённым измерителем радиации. Эти фотоэлементы, а также фотоэлементы других типов широко используются для косвенного измерения других неэлектрических величин: температуры, прозрачности, цветности, отражательной способности, влажности, перемещений, движений и т. д., а также для анализа химического состава веществ спектральным и колориметрическим методами.

В чувствительных элементах этого типа совершаются две ступени преобразований: а) излучение, попадающее на фотоактивный катод, освобождает электроны и б) изменение электронного потока, вызванного приложенной



к электродам разностью потенциалов, воспринимается как изменение электрического сопротивления элемента. В зависимости от вида фотоактивного вещества катода фотоэлементы бывают чувствительны к лучам света разных участков спектра.

Более подробное описание фотоэлементов и их применений приведено в главе II.

И н д у к т и в н ы е чувствительные элементы и датчики, реагирующие на перемещения, получили чрезвычайно широкое распространение. Это объясняется двумя обстоятельствами. Во-первых, как это уже отмечалось выше, механическими перемещениями могут быть отображены самые разнообразные контролируемые величины; во-вторых, при использовании индуктивных чувствительных элементов устраняются трущиеся механические токоподводящие контакты, которые имеются в реостатных датчиках.

Наибольшее распространение получили датчики, в которых сердечники из магнитных материалов перемещаются внутри катушек из медной изолированной проволоки или в которых якоря из магнитных материалов перемещаются относительно электромагнитных систем с неподвижными сердечниками и катушками.

Катушки индуктивных датчиков питаются переменным током, эффективное значение которого изменяется при изменении положения сердечника или величины воздушных промежутков магнитной цепи вследствие изменения индуктивного сопротивления.

Изменение индуктивного сопротивления катушки может быть достигнуто также путём изменения упругого состояния магнитного сердечника. В этом случае изменение положения или геометрических размеров сердечника играет второстепенную роль. Используется же изменение качества магнитного материала, в данном случае изменение магнитной проницаемости  $\mu$  материала. Это явление, обратное известному явлению магнитострикции, с успехом используется при измерениях механических сил и малых, в пределах упругой деформации, перемещений. В настоящее время такие элементы применяются в динамометрах, тензомерах, адаптерах и звукоулавливателях.

Для магнитных тензочувствительных элементов выбираются материалы с достаточно большой магнитной проницаемостью (пермаллой, суперпермаллой, никель).

Обмотки обычно питаются переменным током повышенной частоты (до 50 тысяч герц).

Магнитные материалы обладают свойством термочувствительности, которое может быть использовано для создания магнитных термометров. Как и в предыдущем случае, здесь имеет место изменение магнитной проницаемости, но уже вследствие изменения температуры.

Такие термометры применялись при измерении температуры поверхности вращающихся каландров в резиновом производстве. Термометр выполняется в виде магнитной системы, частью которой является поверхность каландра. Между неподвижной частью магнитной системы с обмоткой и движущейся частью её остаётся небольшой постоянный зазор. Изменение температуры поверхности каландра вызывает изменение магнитной проницаемости материала (сталь), что в свою очередь приводит к изменению величины переменного тока в катушке, возбуждающей магнитный поток.

Магнитные термометры применялись также для измерения очень низких температур в опытах с жидким кислородом и жидким гелием.

Индуктивные сопротивления могут быть использованы для контроля собственных свойств магнитных материалов или факторов, обуславливающих эти свойства. На этом основаны измерения магнитных постоянных, определения нежелательных примесей или дефектов в телах из магнитных материалов (магнитная дефектоскопия), контроль качества стальных деталей, оценка кристаллической структуры материалов и т. д.

На рис. 7 показаны индуктивный микрометр *a*, магнитоупругий тензомер *б* и магнитный термометр *в*.

В первом из этих приборов изменение индуктивностей  $L_1$  и  $L_2$  происходит вследствие перемещения якоря *1* в воздушном промежутке электромагнитов *2*; во втором и третьем—вследствие изменения магнитной проницаемости от механических воздействий или нагревания. Индуктивностью в свою очередь определяется индуктивное сопротивление электрической цепи переменного тока.

Для всех трёх приборов можно применить дифференциальную схему рис. 7, *a*, питаемую через трансформатор *3* от сети переменного тока *E*. Если индуктивные сопротивления левого и правого контуров различаются, то по среднему проводу потечёт ток и измерительный прибор *4*

покажет величину, пропорциональную разности индуктивных сопротивлений.

Измеряемое усилие  $F$  (рис. 7, б) или измеряемая температура  $t$  (рис. 7, в) воздействуют только на один чувствительный элемент. Вторые элементы нужны для повышения точности измерения, в частности для компенсации влияния температуры окружающей среды.

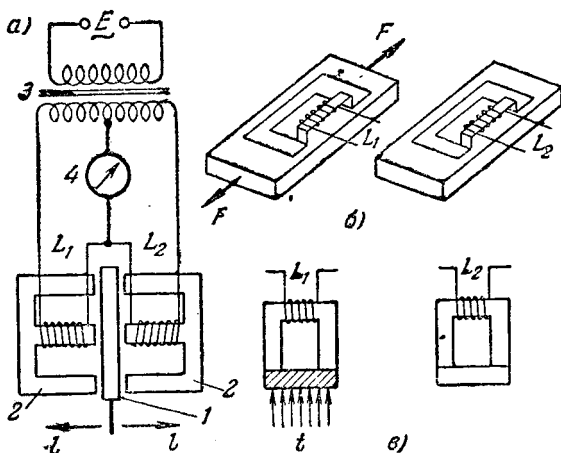


Рис. 7. Индуктивные датчики.

Если в индуктивных и магнитных сопротивлениях преобразования были связаны с изменениями геометрических факторов и магнитной проницаемости, то в ёмкостных и диэлектрических сопротивлениях преобразования связаны с изменениями геометрических факторов и диэлектрической проницаемости. Можно, кроме того, пользоваться явлением чисто диэлектрической проводимости.

Большое распространение получили ёмкостные чувствительные элементы и датчики, выполненные в виде конденсаторов с перемещающимися обкладками. В простейшем конденсаторе с двумя обкладками (пластинами) можно найти ряд воздействий, вызывающих преобразование механических перемещений и соответствующие величины ёмкостного сопротивления. Если одну пластину конденсатора оставить неподвижной, то будут возможны

следующие воздействия: 1) вторая пластина перемещается в перпендикулярном направлении; 2) вторая пластина перемещается в своей плоскости; 3) вторая пластина поворачивается в своей плоскости относительно одной из периферийных точек; 4) вторая пластина поворачивается около одного из своих рёбер; 5) вторая пластина изгибается относительно одного закреплённого ребра; 6) обе пластины остаются неподвижными, но перемещается диэлектрик с диэлектрической проницаемостью, большей чем у воздуха. Последний вариант часто встречается в установках для измерения уровней жидкостей.

Ёмкостные чувствительные элементы обычно включаются в электрические цепи, питаемые током высокой частоты (до миллиона герц).

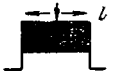



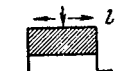
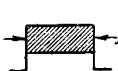
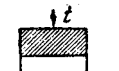
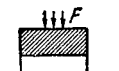
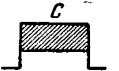





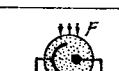
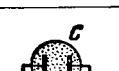
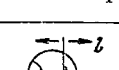

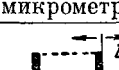

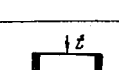


На базе этих элементов созданы тензометры, микрометры, измерители толщины материала, манометры, уровнемеры, динамометры, торзиометры, акселерометры, виброметры, сейсмографы и многие другие приборы.

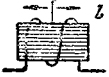



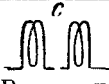
Изменение диэлектрической проницаемости веществ в зависимости от температуры используется для построения приборов, служащих для измерения температуры. Известен ряд диэлектрических термометров из различных диэлектриков, в частности из сегнетодиэлектриков, например титаната бария. Одним из первых термометров, который применялся для измерения температуры ниже нуля, был термометр с диэлектриком из льда.

При воздействии на диэлектрик, например, рентгеновских лучей и излучений радиоактивных веществ проводимость (но не диэлектрическая проницаемость) диэлектрика изменяется, что позволяет измерять интенсивность падающего излучения. На этом принципе построен алмазный счётчик гамма-лучей: чувствительный элемент в виде небольшого алмаза зажимается между двумя металлическими электродами, к которым прикладывается постоянное напряжение около 1000 в. Воздействие на такой элемент гамма-лучей отображается импульсами тока во внешней цепи. Гамма-лучи освобождают в алмазе фотоэлектроны, которые, ускоряясь под действием электрического поля, освобождают новые электроны и в результате приводят к образованию лавинообразного самозатухающего разряда. Энергия разряда пропорциональна объёму кристалла, так как больший объём поставяет большее количество свободных электронов.

Таблица 1

## Систематизация чувствительных элементов и датчиков типа электрических сопротивлений

Перемещение (движение)	Сила	Температура	Радиация	Собственные свойства
 Металлический реостат	 Тензометр сопротивления	 Термометр сопротивления	Отсутствует	 Анализатор состава
 Полупроводниковый реостат	 Углеродистый тензометр	 Термистор	 Фотосопротивление	 Анализатор состава
 Жидкостный реостат	Отсутствует	 Электролитический термометр	Отсутствует	 Кондуктометрический анализатор состава
 Ионный анемометр	 Ионный манометр	Отсутствует	 Газонаполненный фотоэлемент	 Ионный анализатор состава
 Электронный микрометр	Отсутствует	Отсутствует	 Вакуумный фотоэлемент	Отсутствует
 Ёмкостный микрометр	 Диэлектрический динамометр	 Диэлектрический термометр	 Кристаллический счётчик частиц	 Диэлектрический анализатор состава

Перемещение (движение)	Сила	Температура	Радиация	Собственные свойства
 Индуктивный датчик	 Магнитоупругий тензометр	 Магнитный термометр	Отсутствует	 Феррометр
 Индукционный датчик	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	 Радиотехнический анализатор веществ

Ёмкостные и диэлектрические сопротивления могут служить также для электрического отображения собственных свойств диэлектриков и многочисленных неэлектрических факторов, обуславливающих эти свойства. Так, например, контролируется качество изоляции, влажность диэлектрических материалов (бумаги и картона), содержание вредных примесей и другие параметры.

Электрические контуры, связанные между собой электромагнитным полем (взаимная индукция), могут быть использованы для преобразования неэлектрических величин в величины электрические. Здесь, прежде всего, удобно использовать механические воздействия (перемещения), воспринимаемые одним из контуров, металлическим экраном, разделяющим два контура, или сердечником, соединяющим два контура.

На этом принципе построено большое количество датчиков в различных конструктивных вариантах. Наибольшее распространение получили и н д у к ц и о н н ы е или трансформаторные датчики, вращающиеся трансформаторы и сельсины.

В сводной таблице I показаны пять видов неэлектрических воздействий—перемещение, сила, температура, радиация и свойства вещества, к которым приводится большинство измеряемых неэлектрических величин. В той

же таблице приведены различные виды электрических сопротивлений — проводниковые, полупроводниковые, жидкостные, ионные, электронные, ёмкостные, индуктивные и взаимоиндуктивные. В полученной сетке систематически размещаются все основные разновидности электрических чувствительных элементов и датчиков, действующих по принципу изменения сопротивления.

Каждый из указанных в таблице датчиков может быть включён в электрическую цепь постоянного или переменного тока. Тогда изменение сопротивления датчика будет вызывать соответствующее изменение тока или напряжения, а иногда и частоты.

### Чувствительные элементы и датчики второй группы

Вторую большую и важную группу чувствительных элементов и датчиков составляют электрические генераторы, которые под воздействием неэлектрических факторов создают электрические напряжения или токи без применения вспомогательных источников электрической энергии.

К таким устройствам относятся индукционные, электростатические, пьезоэлектрические, термоэлектрические, фотоэлектрические и электрохимические генераторы.

При движении электрического проводника относительно магнитного поля в проводнике наводится электродвижущая сила, пропорциональная размерам проводника, скорости его движения и напряжённости магнитного поля. Это явление электромагнитной индукции положено в основу ряда индукционных измерительных устройств, посредством которых производится преобразование скоростей и ускорений поступательного, вращательного и колебательного движений в соответствующие значения электрического напряжения.

Наиболее распространёнными приборами этого типа являются тахометры постоянного и переменного тока, представляющие собой миниатюрные варианты тех мощных электрических машин, которыми пользуются для получения электрической энергии.

Электростатические и электрокинетические генераторы применяются сравнительно редко, хотя электрические явления, наблюдаемые при

трении двух разнородных диэлектриков (изоляторов) или при движении жидкости относительно твёрдых стенок и перегоронок, известны очень давно.

Производились измерения звуковых колебаний и быстро изменяющихся давлений в трубопроводах посредством камеры, заполненной дистиллированной водой, и пористой электризуемой перегородки с платиновыми контактами (электрокинетический преобразователь). Чувствительность преобразователя оказалась достаточной для регистрации процессов с помощью электронно-лучевого осциллографа, имеющего усилитель.

Пьезоэлектрические генераторы применяются для измерения быстро изменяющихся сил и давлений. В этих приборах используются кристаллы кварца, турмалина или сегнетовой соли, которые создают электрические заряды при сжатии, растяжении, изгибании или скручивании их в определённых направлениях.

Измерение электрических зарядов производится с помощью устройств, работающих без потребления тока, — струнного электрометра или усилителя с электрометрической электронной лампой.

По этому принципу построены пьезоэлектрические микрофоны, адаптеры, динамометры, манометры, виброметры, акселерометры, сейсмографы, индикаторы для двигателей внутреннего сгорания и другие приборы.

Термоэлектрические генераторы (термопары, термоэлементы) используются для измерения температуры и многих других параметров, способных быть отображёнными температурой.

Преобразователь этого типа представляет собой два электрически разнородных проводника, спаянных или иным способом плотно соединённых между собой. При нагревании места соединения на концах проводников образуется электродвижущая сила, являющаяся функцией разности температур места соединения и свободных концов, а также природы проводников. Наиболее употребительны следующие сочетания металлических проводников: платина и платинородий; хромель и копель; ни-хром и константан. Применяются также сочетания из металлических и неметаллических материалов, например угля и силита, графита и вольфрама, угля и никеля.

Русский учёный П. Н. Лебедев первым заключил термоэлемент в эвакуированную колбу, получив таким обра-



зом вакуумный термоэлемент, пригодный для точных измерений радиации и тепловой (инфракрасной) локации.

Если два проводника—электрода (медный и стальной) привести в соприкосновение с исследуемым образцом углеродистой и содержащей кремний стали и нагреть один из электродов до определённой температуры, то полученный термоэлектрический генератор может служить средством определения содержания углерода и кремния в стали.

Фотоэлектрические генераторы известны под названием вентильных фотоэлементов или фотоэлементов с запирающим слоем. К их числу относятся фотоэлементы селеновые, медноокисные (купроксные), серногаллиевые и сернистосеребряные. Честь открытия вентильного фотоэффекта принадлежит русскому физику В. А. Ульянину.

Вентильные фотоэлементы создают электрический ток при воздействии на них энергии радиации без каких-либо источников вспомогательной энергии.

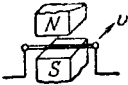


Электрохимические генераторы представляют собой гальванические элементы и способны, следовательно, создавать электродвижущую силу, зависящую от природы и состояния электролитов. Эти устройства применяются главным образом для анализа химических продуктов. Обычно они выполняются в виде двух сосудов с электродами и двумя жидкостями—эталонной и контролируемой, из которых каждая характеризуется концентрацией ( $C$ ) заряженных частиц—ионов. Электрическая цепь между двумя жидкостями замыкается так называемым электролитическим ключом, проводящим ионы, но не допускающим смешивания жидкостей. При измерениях полученных разностей потенциалов пользуются устройствами, не потребляющими больших токов, например электронными схемами с электрометрическими лампами.

Интересной разновидностью чувствительных элементов типа электрохимических генераторов являются элементы для анализа газов. Для образования заряженных частиц (ионизации) газов в них используются радиоактивные вещества, нанесённые на внутренние стенки сосудов. Ионизированные газы (эталонный и контролируемый) создают на электродах потенциалы, которые измеряются описанным выше способом.

В таблице II приведены основные разновидности генераторных чувствительных элементов и датчиков. Как видно, это семейство преобразователей гораздо менее многочисленно, чем семейство типа электрических сопротивлений.

Таблица II

Систематизация чувствительных элементов и датчиков типа электрических генераторов

Перемещение (движение)	Сила	Температура	Радиация	Собственные свойства
 <p>Индукционный генератор</p>	 <p>Пьезоэлемент</p>	 <p>Термоэлемент</p>	 <p>Фотоэлемент с внутренним фотоэффектом</p>	 <p>Потенциометрический (рН) анализатор</p>

Выше было сказано, что электрические генераторы разных типов, в частности электромашинные генераторы, могут быть использованы в качестве простых и удобных датчиков для измерения различных неэлектрических величин электрическими методами.

Таковыми же свойствами обладают электрические двигатели. Любой электрический двигатель, который используется для приведения в действие рабочей машины, уже является не только источником механической энергии, но и удобным измерительным устройством, тонко реагирующим на все изменения совершаемого технологического процесса и на состояние рабочей машины. Это объясняется тем обстоятельством, что изменения характера и величины механической нагрузки точно воспроизводятся на питающей, электрической стороне двигателя в виде соответствующих изменений тока, напряжения или электрической мощности.

Эти свойства электрических двигателей давно уже используются в целях автоматического контроля технологических процессов или испытания рабочих машин.

Вместе с тем были разработаны приборы с миниатюрными электрическими двигателями, специально приспособ-

собленные только для целей измерения. Такие приборы можно назвать электродвигательными датчиками.

В качестве примера следует привести датчик вязкости (роторный вискозиметр), который служит для измерения и преобразования в электрическую величину степени вязкости различных веществ. В этом приборе электрический двигатель постоянного тока с независимым возбуждением вращает цилиндрическое тело (ротор), погружённое в испытываемую жидкость. Величина тока в якорной цепи двигателя зависит от механического момента сопротивления, обусловленного действием сил вязкого трения, и, следовательно, характеризует свойства вещества.

Можно построить и другие приборы подобного типа для тех случаев, когда контролируемая величина отображается силой вязкого или сухого трения, вообще—потребляемой механической мощностью.

Чувствительные элементы и датчики третьей группы, основанной на компенсационном методе, представляют собой более сложные устройства, в состав которых входят регуляторы. На этих устройствах мы останавливаться не будем.

## Г л а в а II

### РЕЛЕ

Реле отличается от чувствительных элементов и датчиков тем, что они вызывают скачкообразное изменение состояния управляемого устройства, в то время как датчики обычно осуществляют плавное воздействие.

Реле выполняют различные функции: выявление предельных значений контролируемой величины, усиление сигнала, увеличение или сокращение времени действия сигнала, разветвление сигнала по многим каналам, переключение каналов, включение или выключение объектов и т. д.

### Механические реле

Механические реле можно разбить на две группы. К первой группе относятся реле, в которых внешнее механическое воздействие преобразуется в механическое же перемещение подвижных частей. Ко второй группе относятся реле с преобразованием внешнего механиче-

ского воздействия в изменение состояния электрических цепей, например замыкание или размыкание электрической цепи. В настоящее время преимущественно используются реле второй группы.

Одним из интересных видов реле, основанных на законах механики, является гравитационное реле, т. е. реле, в которых используется сила тяжести.

Гравитационные реле широко используются в наши дни. На этом принципе основаны, например, телефоны-автоматы, включающие телефонную линию при опускании в ящик пятнадцатикопеечной монеты, автоматы для продажи билетов в московском метро и другие подобные автоматы.

К механическим реле относятся также устройства, реагирующие на изменение скорости вращения. Устройство этих реле основано на использовании сил, развивающихся во вращающихся телах. Шары центробежного механизма, расходящиеся под действием силы инерции, поднимают втулку и при достижении критического числа оборотов замыкают электрический контакт. Для тех же целей применяется реле, основанное на использовании вязкости жидкости или воздуха. Два металлических диска располагаются друг против друга на небольшом расстоянии и один из этих дисков приводится во вращательное движение. Другой диск удерживается пружиной, но вследствие вязкости среды воспринимает некоторый вращающий момент, пропорциональный скорости вращения. При определённом значении скорости вращения этот момент преодолевает действие пружины и ведомый диск поворачивается на некоторый угол, производя замыкание электрических контактов.

В реле, реагирующем на линейное ускорение, используется инерция груза, укрепленного на конце спиральной пружины. Если эта система получает ускорение, то груз перемещается относительно основания прибора и включает какую-либо электрическую цепь. Реле ускорения находят применение в аэронавигации, в приборах для управления полётом реактивных аппаратов.

Существует большое количество других разновидностей механических реле, основанных на различных физических явлениях. Однако более важное значение в автоматике и телемеханике имеют электромеханические реле, к ознакомлению с которыми мы сейчас и перейдём.

## Электромеханические реле

Одним из наиболее распространённых типов электро-механических реле является электромагнитное реле, в котором замыкание контактов осуществляется якорем электромагнита.

Простейшее электромагнитное реле (рис. 8) представляет собой стальной сердечник 1, на который надета катушка 2 из изолированного медного провода. Якорь 3

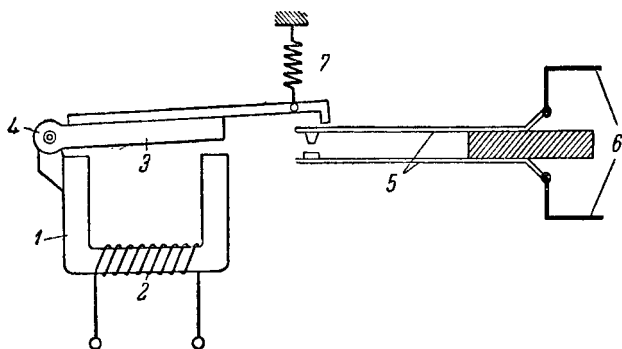


Рис. 8. Схема электромагнитного реле.

в виде небольшой стальной пластинки укреплен на шарнире 4 и при перемещениях может замыкать или размыкать контакты 5.

К концам контактных пластин 5 припаиваются электрические провода 6, соединяющиеся с внешней (исполнительной) цепью.

Если через обмотку 2 реле пропустить электрический ток, то сердечник реле намагнитится и притянет якорь 3. Якорь надавит на контактные пластины 5 и соединит (замкнёт) их друг с другом. После выключения тока сердечник электромагнита размагнитится и якорь опять вернётся на прежнее место, потому что его оттянет назад маленькая пружинка 7. Контактные пластины при этом снова разомкнутся.

Реле срабатывает от сравнительно слабого тока, но оно может включать цепи, по которым проходит ток значительно большей силы. Таким образом, реле выполняет роль усилителя, являясь промежуточным звеном между цепью слабого тока и исполнительной (внешней) цепью

значительно большей мощности. Реле, как уже было отмечено выше, могут выполнять и другие функции.

Строят реле с различным числом замыкающих, размыкающих и переключающих контактных пластин.

Существуют слаботочные и сильноточные электромагнитные реле. К числу слаботочных реле, наиболее часто встречающихся в схемах автоматических и телемеханических устройств, относятся так называемые телефонные реле.

На рис. 9 показана схема телефонного реле типа РМ, изготовляемого ленинградским заводом «Красная заря»,

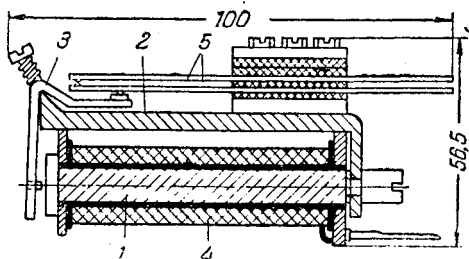


Рис. 9. Телефонное реле типа РМ.  
1—сердечник; 2—основание; 3—якорь; 4—обмотка; 5—контактные пружины.

для телефонных станций и различных автоматических устройств.

Магнитопровод реле представляет собой круглый сердечник 1 и изогнутую скобу—основание 2, выполненные из мягкой стали с очень небольшим содержанием углерода. Это обеспечивает небольшой остаточный магнетизм после выключения тока из катушки реле.

В передней части основания реле имеется ребро, на которое опирается якорь 3. Когда в обмотку 4 катушки, выполненную из медного провода с эмалевой изоляцией, включается ток, сердечник 1 намагничивается и притягивает якорь 3. Концом, на котором укреплен изолирующий стержень, якорь реле начинает давить на контактные пружины 5. Контактные пружины при этом изгибаются и вклеванные в них контакты плотно прижимаются друг к другу, замыкая электрическую цепь.

Вместо нормально открытых контактов, т. е. разомкнутых в тот момент, когда в катушке тока нет, применяются

также нормально закрытые и переключающие контакты. Контактные пружины реле типа РМ устанавливаются на основании в виде двух параллельных групп. В каждой контактной группе может быть несколько контактных пружин. Такое реле может замкнуть, разомкнуть или переключить одновременно до восьми электрических цепей.

При безиндукционной нагрузке контакты реле типа РМ в состоянии без обгорания разорвать электрическую цепь мощностью в 60 *вт*. Катушка же реле потребляет мощность от 1 до 5 *вт*, в зависимости от числа контактных пружин, т. е. в 12—60 раз меньшую, нежели мощность управляемой им электрической цепи.

Сила притяжения и время срабатывания реле зависят от тока и числа витков проволоки в катушке. Произведение этих двух величин называют ампервитками. Для надёжного срабатывания телефонного реле необходимо от 50 до 500 ампервитков, в зависимости от числа контактных пружин.

После включения тока в катушку реле проходит от 15 до 50 тысячных долей секунды (миллисекунд, *мсек*), прежде чем замкнутся (или разомкнутся) контакты исполнительных электрических цепей, т. е. время с р а б а т ы в а н и я реле колеблется в пределах от 15 до 50 *мсек*. Время отпускания, т. е. возвращения контактов реле после выключения тока из катушки в прежнее положение, несколько меньше. Оно колеблется в пределах от 10 до 40 *мсек*. Эти данные относятся к так называемому нормальному типу реле.

Существуют ещё быстродействующие и замедленные реле. Время срабатывания быстродействующих реле почти в десять раз меньше (от 4 до 5 *мсек*), а отпускания— 7—10 *мсек*. И наоборот, замедленные реле срабатывают почти вдвое медленнее нормальных (50—100 *мсек*), а время отпускания их длится в пределах от 50 до 400 *мсек*.

Другой широко распространённый тип электромагнитных реле—это так называемые кодовые реле, главным образом применяющиеся для автоматических устройств в железнодорожном транспорте. Кодовые реле (рис. 10) потребляют мощность порядка 2 *вт*.

Кодовые реле находят также широкое применение в автоматических и телемеханических устройствах промышленных установок и энергетических систем. Они

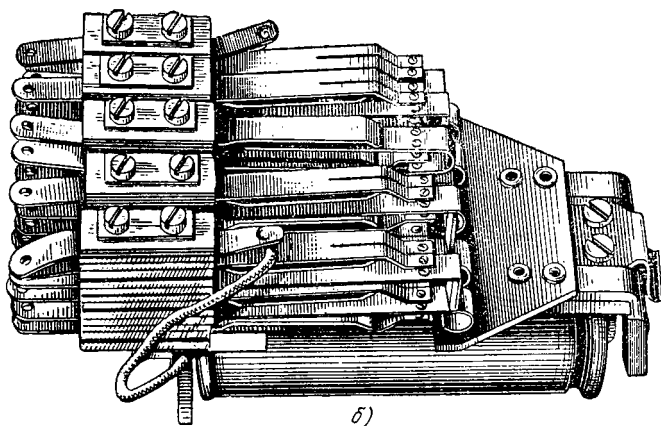
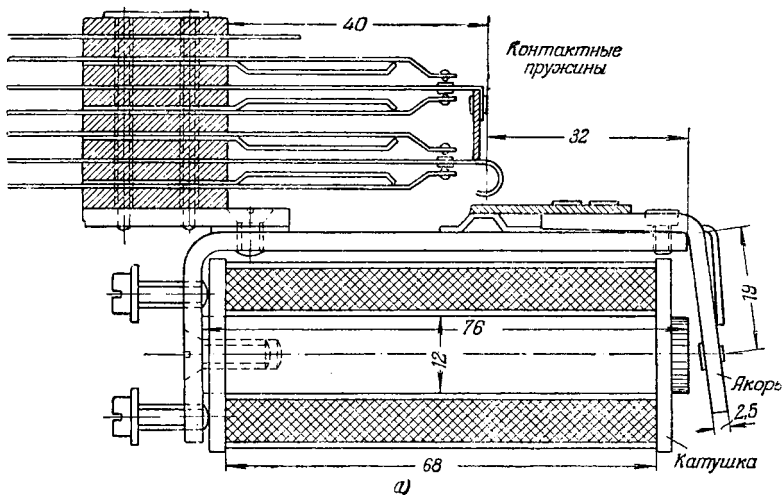


Рис. 10. Кодовое реле типа КДР-1:  
 а) — схематический чертёж; б) общий вид.



часто выполняют роль промежуточных звеньев между телефонными реле и сильноточными реле автоматики. Так как контакты телефонных реле выдерживают меньшую нагрузку, нежели контакты кодовых реле, то эти оба реле соединяются ступенями (каскадами). А именно, контакты телефонных реле включают обмотки катушек кодовых реле, которые своими контактами замыкают цепи питания сильноточных элементов автоматики.

Конструкция электромагнитных реле, управляющих цепями сильного тока (электропривод и др.), значительно отличается от конструкции слаботочных реле. Сердечник и якорь сильноточного реле более массивны. Катушка намотана из толстой проволоки, потому что по ней проходит большой ток. Контактные пружины реле сильного тока обычно изготавливаются из прочной стали, снабжаются большими контактами и дугогасительными устройствами. Такие реле называются контакторами.

При включении обмотки реле в ней возникает так называемая обратная электродвижущая сила самоиндукции, которая стремится противодействовать нарастанию магнитного потока. Это противодействие, являющееся электромагнитной инерцией, уменьшает скорость срабатывания реле. На скорость срабатывания реле оказывают влияние также длина хода якоря и величина давления контактных пружин на якорь. С увеличением числа ампервитков время срабатывания реле уменьшается.

В некоторых схемах автоматики требуется искусственно замедлить время срабатывания или отпускания якоря электромагнитного реле.

Один из наиболее часто встречающихся способов замедления срабатывания электромагнитных реле основан на использовании вихревых токов.

Если в магнитном поле вращается виток медной проволоки так, что он пересекает силовые магнитные линии, то в нём, как известно, индуцируется электродвижущая сила (э. д. с.). То же самое будет, если виток проволоки оставить неподвижным, а перемещать или изменять магнитное поле.

Так, например, во вторичной обмотке трансформатора, не соединённой непосредственно с каким-либо источником тока, появляется э. д. с. благодаря изменению магнитного потока, создаваемого первичной обмоткой, когда по ней проходит переменный ток.

Вихревые токи возникают не только в проводах обмоток, но и во всех металлических частях, находящихся в изменяющемся магнитном поле. Появляются они и в стали якоря динамомашин, и в сердечниках трансформаторов и электромагнитов.

Однако там от них стараются избавиться, потому что они вызывают потери энергии, бесполезно нагревая стальные сердечники. Для того чтобы уменьшить вихревые токи, в электрических машинах и аппаратах применяют не сплошные, а слоёные, составленные из отдельных пластин, стальные части.

Однако в автоматических устройствах вихревые токи могут принести и пользу.

Магнитное поле, нарастая при включении тока от нуля до некоторой конечной величины, пронизывает не только витки обмотки, но и сердечник реле.

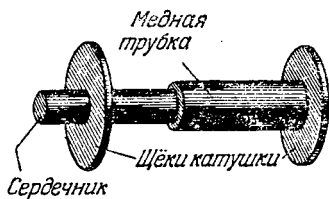


Рис. 11. Каркас катушки реле замедленного действия.

Электродвижущая сила индуктируется, следовательно, и в стальном сердечнике, вызывая в нём вихревые токи. Эти токи создают в свою очередь магнитный поток, тормозящий нарастание основного магнитного поля, и тем самым замедляют срабатывание реле.

Чтобы усилить замедляющее действие вихревых токов, ярмо и якорь реле делают сплошными, каркас катушки из латуни или красной меди (рис. 11), а на сердечник катушки надевают массивное медное кольцо. Во всех этих металлических частях в момент включения тока образуются вихревые токи, замедляющие притяжения якоря к сердечнику реле, т. е. увеличивающие время срабатывания.

Изменяя размеры медного кольца, можно получить выдержку времени в пределах от 0,01 до 0,3 сек. Вихревые токи создают двустороннее замедление, т. е. якорь реле медленно притягивается и медленно отпускается.

Однако в большинстве случаев требуется односторонняя выдержка времени, когда реле быстро притягивает якорь, но медленно его отпускает, или, наоборот, медленно притягивает, а быстро отпускает. Одним из способов замедления отпускания реле является шунтирование его обмотки активным сопротивлением (рис. 12).

Сопротивление создаёт цепь для прохождения экстратока размыкания, индуктирующегося в обмотке при отключении её от источника питания. Сила экстратока размыкания будет зависеть от величины активного сопротивления. Экстраток размыкания создаёт свой соб-

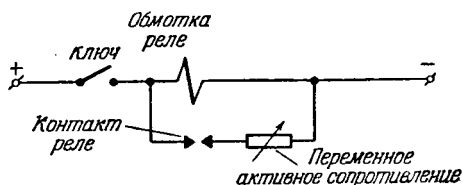


Рис. 12. Схема замедления отпускания якоря реле с шунтирующим сопротивлением.

ственный магнитный поток, который некоторое время удерживает якорь реле в притянутом состоянии.

Для того чтобы сопротивление не уменьшило чувствительности реле, оно включается с помощью контактов (рис. 12) только после того, как реле работает. Недо-

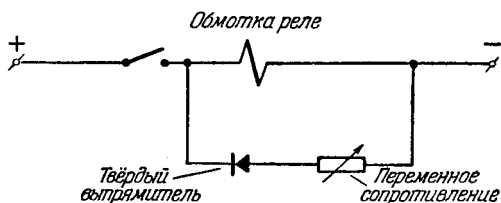


Рис. 13. Схема замедления отпускания якоря реле с твёрдым выпрямителем.

статком этого способа является излишнее расходование энергии в активном сопротивлении в течение всего времени, пока реле находится под током.

Этот недостаток устраняется при использовании твёрдых выпрямителей, обладающих односторонней проводимостью.

На рис. 13 показана схема замедления отпускания реле при помощи меднозакисного выпрямителя, включённого параллельно обмотке реле в определённом направлении. Когда реле включено, шунтирующее сопротивление почти не потребляет электрической энергии. Экстра-

ток размыкания имеет обратное направление по отношению к току питания, и поэтому при отключении обмотки реле выпрямитель экстраток пропустит. Как и в предыдущем случае, экстраток создаёт дополнительное магнитное поле, которое некоторое время удерживает якорь реле в притянутом состоянии. Время отпускания можно регулировать переменным сопротивлением.

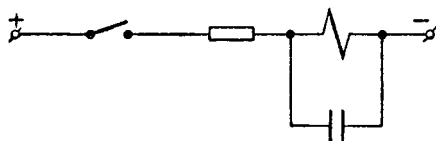


Рис. 14. Схема замедления притяжения якоря реле с конденсатором.

Для увеличения времени срабатывания реле необходимо добиться, чтобы магнитный поток нарастал медленно. Для этого параллельно обмотке реле можно, например, подключить электрический конденсатор (рис. 14). В момент включения конденсатор представляет собой меньшее сопротивление, нежели обмотка реле.

Большое число витков обмотки реле и без того создаёт значительное индуктивное сопротивление, затягивающее нарастание тока, но к этому прибавляется ещё действие конденсатора, который шунтирует обмотку реле в процессе зарядки. Замедление срабатывания реле пропорционально ёмкости конденсатора и колеблется в пределах от нескольких сотых до одной десятой доли секунды.



Рис. 15. Схема замедления притяжения якоря реле с лампой накаливания.

В тех случаях, когда замедление срабатывания реле должно достигать нескольких десятых долей секунды, обмотку реле можно шунтировать лампой накаливания (рис. 15). Сопротивление холодной нити лампы невелико. Поэтому в момент включения через неё протекает большой

ток, снижающий напряжение питания реле. По мере увеличения сопротивления нити вследствие нагревания ток в обмотке реле возрастает. Время срабатывания реле, очевидно, будет пропорционально тепловой инерции нити лампы накаливания. Чтобы избежать замедления отпущения реле при его отключении, цепь лампы накаливания разрывают с помощью специального контакта.

Кроме рассмотренных выше электрических способов изменения времени срабатывания реле существуют и чисто механические, которые позволяют получить выдержку времени от долей секунды до нескольких минут.

В тех случаях, когда необходимо получить небольшое замедление, достаточно увеличить массу якоря реле.

Иногда контактные органы связывают с якорем реле через замедляющие устройства с пружиной и зубчатыми колёсами.

Значительное увеличение времени движения контактных органов реле может быть достигнуто при использовании жидкостных замедлителей.

При включении тока сердечник реле быстро притягивает якорь, но контактные органы не замкнутся до тех пор, пока определённое количество масла не перетечёт из одной части цилиндра в другую. Недостатком этого реле является непостоянство выдержки времени вследствие изменения вязкости масла в зависимости от температуры.

Часто вместо масляных замедлителей применяют воздушные. Так как вязкость воздуха в несколько тысяч раз меньше вязкости масла, то при этом приходится значительно увеличивать площадь поршня.

Для увеличения времени срабатывания реле применяют также регуляторы скорости, основанные на различных физических явлениях. В одних используется тормозящее действие крыльчатки, в других—трение твёрдых тел, в третьих—торможение с помощью вихревых токов.

Схема реле, использующего силу упругости воздуха, изображена на рис. 16.

Якорь этого реле после включения тока в обмотку быстро притягивается к сердечнику электромагнита, контакты же замыкаются только через некоторое, иногда очень длительное время. Это время зависит от передаточного числа зубчатых колёс и от величины сопротивления, оказываемого воздухом на лопасти крыльчатки.

При притяжении якоря реле к сердечнику электромагнита пружина, укрепленная одним концом на якоре, нажимает другим своим концом на рычаг, а укрепленная на оси этого рычага собачка стремится повернуть храповик. При движении храповика поворачивается большое зубчатое колесо, которое через систему зубчатых передач вращает крыльчатку. Воздух тормозит вращение крыльчатки и этим замедляет включение контактов. Контакты замыкаются кулачком, укрепленным на оси храпового колеса.

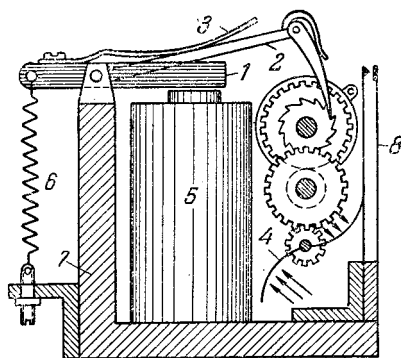


Рис. 16. Схема реле с часовым механизмом и воздушным демпфером: 1—якорь; 2—рычаг; 3—плоская пружина; 4—лопасти; 5—катушка электромагнита; 6—оттяжная пружина; 7—ярмо электромагнита; 8—контактные пластины, замыкаемые выступом (кулачком) верхнего колеса.

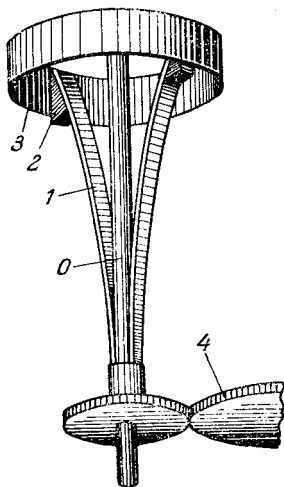


Рис. 17. Тормозящая система фрикционного действия:

1—пружина; 2—грузы; 3—обод; 4—зубчатая передача; 0—ось.

Иногда используют фрикционную систему, действие которой основано на силах трения. Такую систему можно увидеть, например, в номеронабирателе телефонного аппарата АТС. Для того чтобы диск после набора номера с равномерной скоростью возвратился назад, с осью диска через зубчатую передачу сцепляют замедляющий механизм (рис. 17), состоящий из двух пружинящих полосок с грузами на концах. При вращении грузы под действием центробежной силы расходятся и прижимаются к внутренней поверхности металлического ободка, притормаживая, таким образом, обратное движение диска.

Выдержка времени зависит от длины хода якоря реле и упругости пружин. Обычно фрикционная система применяется в тех случаях, когда требуется выдержка времени от 1 до 60 сек.

В некоторых случаях возникает необходимость повышения скорости срабатывания электромагнитных реле. Этого можно достигнуть применением постоянных магнитов и максимальным облегчением якоря реле. Так называемые поляризованные реле имеют время срабатывания, исчисляемое тысячными долями секунды.

Идея устройства поляризованного реле (рис. 18) заключается в том, что в магнитную цепь его вводят дополнительный магнитный поток, создаваемый постоянным магнитом.

Якорь поляризованного реле находится всегда под притягивающим воздействием постоянного магнитного поля, но для того чтобы якорь притянулся к сердечнику, необходим некоторый добавочный небольшой магнитный поток, который и создаётся основной обмоткой реле.

Этот магнитный поток может быть очень малым, так как предварительное намагничивание сердечника уже имеет место. В силу этого повышается не только скорость срабатывания реле за счёт уменьшения времени, требующегося для нарастания магнитного поля, но и чувствительность реле.

Поле постоянного магнита в одном направлении проходит через полюсные наконечники и по железному ядру. (На рис. 18 магнитный поток постоянного магнита показан сплошной линией.) Пока тока в обмотке нет, якорь реле находится в среднем, нейтральном положении. Его с одинаковой силой притягивает как левый, так и правый полюсные наконечники. Это положение якоря

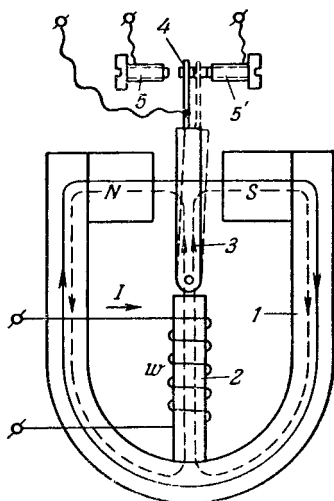


Рис. 18. Схема поляризованного реле:

1—постоянный магнит; 2—обмотка реле; 3—якорь; 4—контактная пластина; 5 и 5'—контактные винты.

было бы неустойчивым, если бы пружина не удерживала его в среднем положении.

Когда же по обмотке реле пропускается ток, то возникает дополнительный магнитный поток. Этот поток заставляет якорь реле притягиваться либо влево, либо вправо, в зависимости от направления тока в обмотке реле. На рисунке дополнительный магнитный поток показан пунктиром. Проходя по якорю реле, он разветвляется на две части, по обе стороны ярма. При том направлении магнитного потока, какое показано стрелками на рисунке, магнитные поля справа усиливают друг друга, и якорь притянется вправо. Притянувшись к правому полюсному наконечнику, якорь замкнёт цепь правого контакта. При включении тока в обмотку в обратном направлении якорь реле притянется влево и замкнёт левый контакт.

Регулировка реле производится перемещением полюсных башмаков и контактных винтов. Просвет между контактами (они делаются в реле этого типа из платины) при регулировке реле на наибольшую чувствительность получается порядка нескольких десятых долей миллиметра. Поэтому при работе реле необходимо предохранять от сотрясений.

Поляризованное реле может иметь чувствительность (ток срабатывания) порядка 10 миллионных долей ампера, тогда как для срабатывания электромагнитного реле телефонного типа требуется ток, примерно в 100 раз больший.

Поляризованное реле часто применяется в системах телеуправления, осуществляя избирательное включение электрических цепей, в зависимости от направления тока в обмотке.

Исключительно высокой чувствительностью обладают магнитоэлектрические реле, основанные на использовании сил взаимодействия между магнитным полем и током, протекающим по проводнику. В этом реле (рис. 19) магнитный поток, как и в поляризованном реле, создаётся постоянным магнитом, обычно подковообразной формы, а проводник навивается на лёгкий металлический каркас, помещённый между полюсами магнита. Такое же устройство имеют магнитоэлектрические гальванометры. При пропускании тока через реле его рамка (каркас с обмоткой) поворачивается вокруг цилиндрического сердечника и с помощью небольшого рычага замыкает электрические контакты.



В зависимости от направления тока, протекающего по проводнику, вращающий момент меняет свой знак; при этом замыкается либо левый, либо правый контакты.

Магнитоэлектрические реле срабатывают от токов порядка одной миллионной доли ампера. Мощность их колеблется в пределах от  $10^{-4}$  до  $10^{-9}$  вт, причём управляемая ими мощность может быть порядка одного ватта. Таким образом, коэффициент усиления магнитоэлектрического реле определяется огромной величиной — в среднем порядка одного миллиарда.

Недостатком этого реле является большое время срабатывания (около 0,1 сек.), а также весьма малое контактное давление.

Для увеличения контактного давления иногда устраивают специальные блокировочные устройства, например в виде электромагнитных контактов (рис. 19). На контактном рычаге укрепляется маленький якорь, а у каждого контакта реле устанавливается миниатюрный электромагнит, обмотка которого автоматически включается при замыкании контакта.

Притягивая якорь контактного рычага, электромагниты увеличивают контактное давление во много раз, создавая надёжный электрический контакт. Блокировка снимается размыканием электрических цепей. Во избежание прилипания к сердечникам якорь миниатюрного электромагнита изготавливается из самых мягких сортов стали с ничтожным остаточным магнетизмом.

Электродинамические реле (рис. 20) основаны на взаимодействии двух проводников, по которым протекает электрический ток. Обычно эти проводники выполняются в виде двух катушек — внешней неподвижной и внутренней подвижной. Сила взаимодействия между катушками пропорциональна напряжённости магнитного поля не-

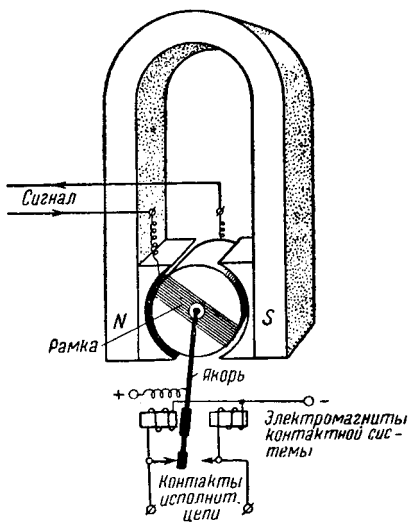


Рис. 19. Схема магнитоэлектрического реле.

подвижной катушки и величине тока в подвижной катушке.

Напряжённость магнитного поля неподвижной катушки в свою очередь пропорциональна количеству ампервитков и, следовательно, силе второго тока. Если катушки соединить последовательно, то вращающий момент подвижной катушки будет пропорционален квадрату силы тока. Электродинамические реле можно применять в цепях как постоянного, так и переменного токов, так как ток меняет направление одновременно в двух катушках

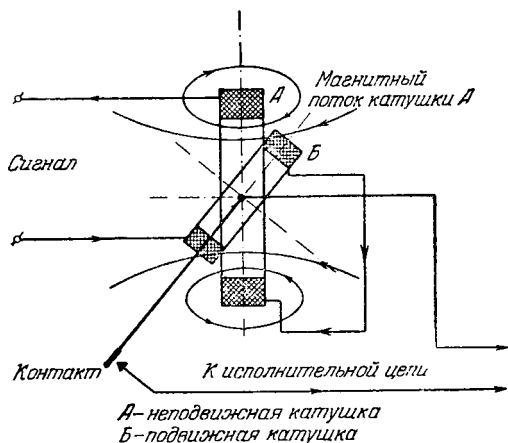


Рис. 20. Схема электродинамического реле.

и знак вращающегося момента остаётся постоянным. По прекращении тока спиральные пружины возвращают подвижную катушку в начальное положение.

Вращающий момент подвижной части реле, основанного на взаимодействии двух токов, вообще говоря, незначителен. Так, например, при потреблении мощности в пределах от 0,15 до 30 *вт* вращающий момент подвижной катушки находится в пределах от 0,1 до 10 *дин·см*. Для увеличения момента в магнитную цепь реле вводят сталь. Тогда реле становится ферродинамическим. Реле со сталью в магнитной цепи потребляют мощность от 1 до 30 *вт*. При этом они могут управлять цепями мощностью до 300 *вт*.

Известно, что ферромагнитные материалы, помещённые в магнитное поле, изменяют свои геометрические раз-

меры и объём. Этот эффект называется магнитоstriction. Особенно ярко он выражен у никеля и его сплавов с железом. Относительное приращение длины стержня из ферромагнитного материала прямо пропорционально напряжённости магнитного поля. Это явление используется в магнитоstrictionном реле.

Подобным же образом ведут себя кристаллы некоторых веществ в электрическом поле. При помещении кристаллов кварца, турмалина или сегнетовой соли в электриче-

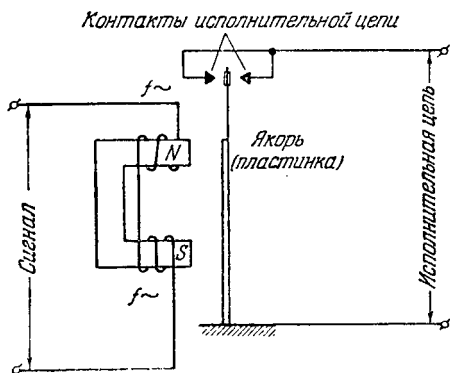


Рис. 21. Схема резонансного реле.

ское поле они изменяют свои размеры пропорционально напряжённости электрического поля. Реле, использующее это свойство, называются электрострикционными. Обычно они выполняются из кварца—минерала большой механической прочности. Из кристалла кварца вырезается пластинка так, чтобы её грани были перпендикулярны к оптической, электрической и нейтральной осям. Пластинка, вырезанная таким образом и помещённая в электрическое поле, которое направлено вдоль электрической оси, изменяет свои размеры вдоль электрической и нейтральной осей.

Известны также резонансные реле, отзывающиеся на сигналы определённой частоты. Электромеханический вариант таких реле основан на колебании механических элементов. Одно из таких реле (рис. 21) представляет собой подковообразный постоянный магнит с двумя последовательно соединёнными катушками. Против полюсов магнита одним концом укреплена тонкая эластичная пла-

стинка из стали, свободный конец которой может колебаться в достаточно большом промежутке между двумя контактами.

Если частота тока, протекающего по катушкам, и частота собственных колебаний пластинки совпадают, то возникает явление резонанса: амплитуда колебаний пластинки резко возрастает и реле периодически замыкает контакты исполнительной цепи.

Постоянный магнит служит для повышения чувствительности реле.

Кроме того, если катушки расположить на сердечнике из мягкой стали (а не на постоянном магните), то пластинка будет реагировать как на положительные, так и на отрицательные полупериоды тока, т. е. окажется настроенной на вдвое большую частоту.

Кроме электромеханических резонансных реле в телемеханике применяются ещё так называемые электрические резонансные реле. Эти реле основаны на явлении электрического резонанса токов или напряжений в самих электрических цепях. Они представляют собой электрические колебательные контуры со включёнными в них обычными электродинамическими или электромагнитными реле.

### Электронные реле

В последние годы на промышленных предприятиях, на транспорте и в других отраслях народного хозяйства нашла широкое применение электронная автоматика. Применение электронных и ионных приборов (радиоламп, тиратронов, фотоэлементов и пр.) для целей автоматизации позволяет значительно улучшить производственные процессы, а также осуществить быстрый и точный контроль выпускаемой продукции.

По сравнению с электромагнитными механизмами, употребляемыми для целей автоматического управления, контроля и регулирования, электронные приборы имеют большие преимущества. Самое большое преимущество электронных приборов перед электромагнитными заключается в их безинерционности и высокой чувствительности.

Электронные приборы практически безинерционны и реагируют на мгновенные изменения электрической энергии, интенсивности света, влажности, температуры, скорости и многих других физико-химических факторов.

Электронные приборы «чувствуют» изменения силы тока, измеряемые миллионными долями ампера, и могут управлять при этом механизмами мощностью в сотни и тысячи киловатт.

История развития электронных и ионных приборов, применяемых для автоматики, тесно связана с историей развития радиотехники. Непрерывное усовершенствование электронных и ионных приборов, особенно за последние годы, дало возможность широкого их применения для целей автоматического управления и контроля.

Напомним устройство основного элемента любого электронного прибора—электронной лампы.

Электронная лампа состоит из стеклянного или металлического баллона, из которого удалён воздух до давления порядка  $10^{-6}$ — $10^{-8}$  мм рт. ст. Внутри баллона на стеклянной ножке укреплена металлическая нить, нагреваемая электрическим током. К источнику тока нить присоединяется через электроды, впаянные в баллон.

Нить накала изготавливается из вольфрама, покрытого легко эмиттирующей (выделяющей электроны) окисью кальция, тория, стронция или бария.

В случае питания нити лампы переменным током нить накала нагревает фарфоровый цилиндр, на поверхности которого нанесён эмиттирующий слой. В этом случае благодаря тепловой инерции фарфорового цилиндра эмиссия электронов получается достаточно равномерной.

Металлическая пластинка, находящаяся под положительным потенциалом батареи (анод), часто делается в виде полого цилиндра, охватывающего нить накала.

Когда накалённую нить (катод) присоединяют к отрицательному полюсу электрической батареи, а анод—к положительному полюсу той же батареи, то во внешней цепи появляется ток.

Лампу с двумя электродами—катодом и анодом—называют д и о д о м. Если между катодом и анодом диода поместить ещё один электрод—металлическую сетку, то получится трёхэлектродная лампа—т р и о д. Изменяя потенциал сетки относительно катода, можно регулировать количество электронов, летящих от накалённого катода к аноду. Положительно заряженная сетка притягивает к себе излучаемые нитью электроны и затем пропускает их к аноду, а отрицательно заряженная сетка отталкивает электроны.

При большом отрицательном потенциале на сетке лампы её анодный ток может полностью прекратиться, так как все излучаемые электроны, отталкиваясь от сетки, будут возвращаться обратно на катод. Лампа, таким образом, окажется «запертой».

В цепи управления (т. е. в цепи сетки) одной из современных ламп типа 6С5 достаточен ток всего лишь в несколько миллионных долей ампера. В то же время ток в анодной цепи этой лампы, в которую включена нагрузка

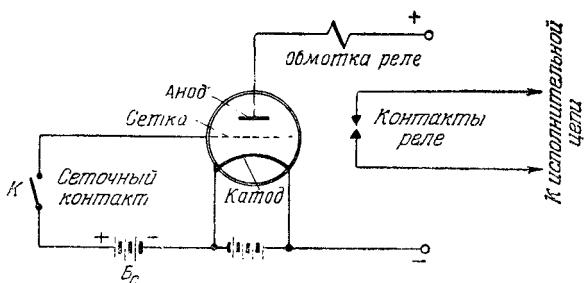


Рис. 22. Схема электронного реле на постоянном токе.

(электромагнитное реле), может достигать величины, в десять тысяч раз большей, т. е. порядка 10—15 ма.

Когда цепь батареи  $B_c$  (рис. 22), задающей на сетку электронной лампы положительный потенциал, разорвана ключом  $K$ , то анодный ток её не превышает 5 ма. Допустим, что электромагнитное реле, включённое в анодную цепь электронной лампы, имеет чувствительность, равную 10 ма. Для срабатывания такого реле на сетку лампы нужно подать положительный потенциал порядка 10—12 в от батареи смещения  $B_c$ . Для этого достаточно замкнуть ключ  $K$ , называемый сеточным контактом.

Уже при таком сочетании электронного реле (усилительной лампы) с электромагнитным реле достигаются большие преимущества.

Для получения надёжного электрического контакта в обычных релейных цепях низкого напряжения требуется контактное давление порядка 25—30 г. При меньшем давлении контактов их омическое сопротивление сильно возрастает, в точках соприкосновения начинает выделяться

Значительное количество тепла, и контакты обгорают. Кроме того, при механических сотрясениях неплотно прижатые друг к другу контакты будут вибрировать, что опять-таки вызовет их искрение и обгорание. Для замыкания же цепи сетки электронного реле достаточно контактного давления величиной всего лишь в несколько миллиграмм. Лёгкое прикосновение стрелки измеритель-

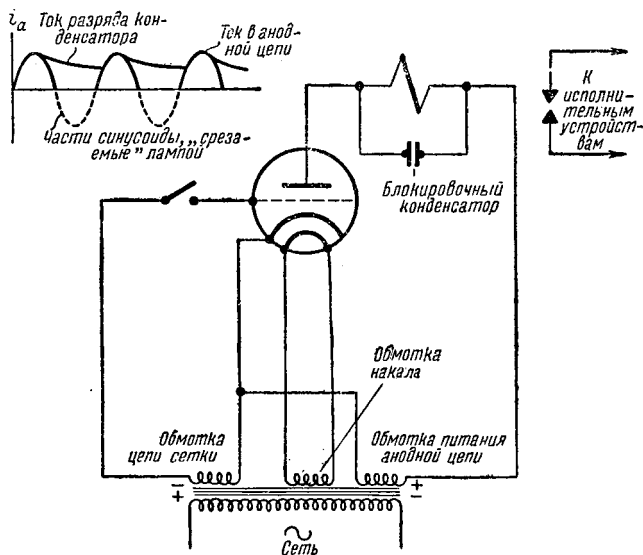


Рис. 23. Схема электронного реле на переменном токе.

ного прибора к контакту уже заставит электронное реле сработать. Ни о каком обгорании контактов вследствие искрообразования здесь не может быть и речи.

Электронное реле может работать не только от электрических батарей, но и от сети переменного тока. Нужные напряжения при этом получаются с помощью трансформатора.

Схема электронного реле при питании его от сети переменного тока 50 гц показана на рис. 23. За каждый период переменного тока на аноде электронной лампы в течение одного полупериода получается положительное напряжение (+), а в течение другого—отрицательное (—). Когда на аноде лампы действует отрицательная полуволна напряжения, ток через лампу пойти вообще не

может, независимо от того, положительно или отрицательно заряжена сетка.

Обмотки трансформатора, питающие анодную и сеточную цепи, включены таким образом, чтобы в тот момент, когда на аноде имеется положительный потенциал, на сетке был бы отрицательный. На схеме рис. 23 это условно обозначено знаками ( $\pm$ ).

Когда сеточный контакт разомкнут, сетка лампы находится под нулевым потенциалом и поэтому через лампу проходит полуволна переменного тока, достаточная для срабатывания электромагнитного реле в анодной цепи электронной лампы (время срабатывания некоторых реле меньше 0,01 сек.).

Однако в следующую сотую долю секунды ток в анодной цепи лампы прекратится, потому что напряжение на аноде будет отрицательным, и т. д. Поведение реле при этом будет зависеть от времени отпускания якоря. Если реле отпускает свой якорь с такой же скоростью, как и притягивает его, то при каждой отрицательной полуволне анодного напряжения оно будет выключаться. В результате получится дрожание якоря реле в такт полупериодам пульсирующего анодного тока.

Чтобы избежать дрожания якоря, нужно либо подобрать такое реле, время отпускания которого было бы больше  $\frac{1}{50}$  сек. (полного периода переменного тока), либо параллельно его обмотке включить конденсатор. Заряжаясь в течение положительного полупериода, он в следующий полупериод разряжается и таким образом поддерживает непрерывное питание электромагнитного реле (см. график на рис. 23).

При замыкании контакта в цепи сетки (второй случай) на сетке появится отрицательный потенциал, и лампа зайдёт. Анодный ток при этом резко уменьшится и электромагнитное реле отпустит свой якорь.

Быстрота действия электронного реле лимитируется временем срабатывания электромагнитного реле, включённого в анодную цепь лампы. Обойтись же без электромагнитного реле и тем самым исключить его инерцию затруднительно, так как анодный ток большинства электронных ламп вследствие их большого внутреннего сопротивления невелик и непосредственно не может приводить в действие механизмы более мощные, чем электромагнитное реле. В данном случае электромагнитное реле



в цепи электронной лампы является промежуточным элементом.

Задача малоинерционного управления мощными механизмами может быть решена с применением ионных реле—тиратронов.

### Ионные реле

Тиратрон отличается от вакуумной трёхэлектродной лампы тем, что его колба наполнена каким-либо благородным газом (аргоном, неоном) или парами ртути под

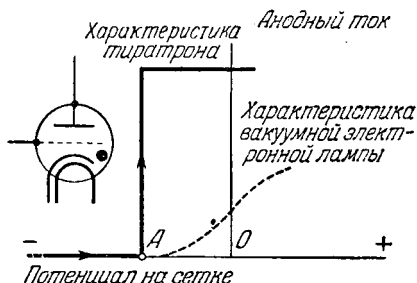


Рис. 24. Характеристика тиратрона и сравнение её с характеристикой электронной лампы:

А—момент зажигания тиратрона. Жирная точка внутри баллона означает, что это не вакуумный триод, а газонаполненный тиратрон.

давлением порядка десятитысячных долей миллиметра ртутного столба.

Работа газонаполненной лампы—тиратрона—происходит несколько по-иному, чем вакуумной. При большом отрицательном потенциале на сетке электроны, вылетающие из раскалённой нити тиратрона, образуют около неё пространственный заряд (облачко). При этом анодный ток тиратрона равен нулю, как это видно по характеристике зажигания на рис. 24. Для сравнения на том же рисунке приведена характеристика электронной лампы.

Если отрицательное напряжение на сетке тиратрона понизить, то скорость электронов увеличивается и при некотором значении становится достаточной для ионизации атомов газа. Вырвавшись из раскалённого катода, электроны летят к притягивающему их аноду, приобретая при этом большую скорость.

Столкновение их с молекулами газа вызывает ионизацию, ведущую к значительному увеличению анодного тока. Процесс ионизации нарастает лавинообразно. Наступает газовый разряд, и тиратрон, как говорят, зажигается.

Ток в тиратроне устанавливается в течение миллионной доли секунды и не зависит от дальнейшего изменения потенциала на сетке. На сетку зажжённого тиратрона можно дать любой положительный или отрицательный потенциал. Это на его работу не окажет никакого действия. Зажечь тиратрон можно повышением напряжения на сетке, но погасить его, уменьшая сеточное напряжение, уже нельзя. Таким образом, сетка зажжённого тиратрона теряет своё управляющее действие. Ток тиратрона при его работе зависит только от напряжения анодной батареи и сопротивления анодной цепи с нагрузкой.

Возникший ионный ток можно прервать только разрывом анодной цепи или значительным уменьшением анодного напряжения.

Управляющее действие сетки тиратрона восстанавливается, если питание осуществляется переменным током. В этом случае ток в анодной цепи будет протекать только в течение части положительного полупериода. В течение всего остального времени анодный ток будет отсутствовать. Если отрицательный потенциал на сетке в этот момент увеличится, то ток вообще прервётся, так как дальнейшие положительные импульсы напряжения на аноде не зажгут тиратрона.

Для управления тиратроном достаточны токи порядка одной миллионной доли ампера. В анодную цепь тиратрона можно непосредственно включать электродвигатели, сигнальные лампы, электрические звонки и силовые электромагниты, потребляющие ток порядка 1 а. Таким образом, при помощи тиратрона достигается усиление в миллион раз.

### Триггерные реле

Тиратронную (релейную) характеристику со скачкообразным изменением анодного тока можно получить также в схеме с двумя электронными лампами. Такие схемы называются релейными, спусковыми, курковыми или триггерными. Будем пользоваться термином триггер. На схеме рис. 25 показаны две одинаковые лампы  $L_1$  и  $L_2$ . Сетка

лампы  $L_1$  через активное сопротивление  $R_1$  соединяется с анодом лампы  $L_2$ . В свою очередь анод лампы  $L_1$  через активное сопротивление  $R_2$  соединён с сеткой лампы  $L_2$ . Такое включение обеспечивает перекрёстную обратную связь для обеих ламп. Это значит, что когда анодный ток в одной из ламп увеличится, то положительный потенциал на сетке другой лампы тотчас же уменьшится. Поэтому увеличение тока в одной из ламп вызывает уменьшение тока в другой.

Если на «входе» сигнала нет, то ток пропускается только одной из ламп и именно той, которая раньше успела получить первый случайный импульс, благодаря которому положительный потенциал на сетке её слегка повысился.

Допустим, что к моменту подачи входного сигнала  $U_{вх}$  пропускает ток лампа  $L_2$ . Тогда входной сигнал должен быть положительным, т. е. он должен сообщить сетке лампы  $L_1$  положительный потенциал по отношению к катоду. Под действием сигнала ток в лампе  $L_1$  начнёт увеличиваться, а ток в лампе  $L_2$  — уменьшаться. По мере увеличения тока в лампе  $L_1$  на сетке лампы  $L_2$  уменьшается потенциал. Это естественно вызовет ослабление протекающего через неё тока и увеличение напряжения на её аноде, так как уменьшается падение напряжения на сопротивлении  $R_{a2}$ . Но так как анод лампы  $L_2$  соединён с сеткой лампы  $L_1$ , то потенциал сетки лампы  $L_1$  возрастет. От этого ещё больше увеличится анодный ток лампы  $L_1$  и уменьшится ток лампы  $L_2$ . Так постепенно, влияя друг на друга, лампы достигнут предельного режима работы. А именно, ток первой лампы будет наибольшим, а второй — наименьшим.

Для того чтобы достигнуть такого положения, триггеру требуется всего несколько миллионных долей секунды. Это позволяет считать триггер практически безинерционным реле. При подаче входного сигнала ток в триггере возрастает почти мгновенно. Чтобы привести триггер

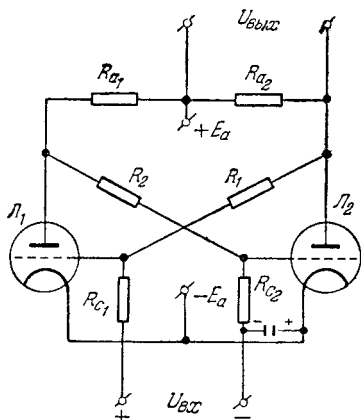


Рис. 25. Схема триггера.

в исходное положение, достаточно уменьшить напряжение на входе или поменять полярность.

Триггер, который мы только что здесь рассмотрели, имеет положительную обратную связь по напряжению. Существуют и другие типы триггеров, в которых обратная связь производится не по напряжению, а по току.

Триггеры являются подлинно электронными реле, так как в них без применения электромагнитных реле достигается скачкообразное изменение тока, которое можно непосредственно использовать для приведения в действие исполнительных устройств небольшой мощности.

Кроме того, триггеры нашли широкое применение в импульсном телеизмерении и телеуправлении, в импульсной счётно-решающей технике и т. д.

### Фотоэлектрические реле

В фотоэлектрических реле чувствительными элементами или «контактами» служат фотоэлементы разных типов.

Советская промышленность выпускает несколько типов газонаполненных фотоэлементов с цезиевыми катодами, обработанными кислородом.

Стеклянные колбочки фотоэлементов наполняются небольшим количеством инертного газа—аргона. Благодаря ионным процессам получается усиление фототока внутри самого фотоэлемента.

Один из таких фотоэлементов ЦГ-1, что значит цезиевый, газонаполненный, типа 1, имеет анод, выведенный к карболитовому цоколю со штырьками, как у обыкновенных усилительных радиоламп. Один штырёк цоколя соединён с выводом от анода, остальные три штырька—холостые. Катод имеет отдельный вывод в виде металлического отростка, укрепленного на задней стенке стеклянной колбы фотоэлемента. На внутреннюю поверхность колбы фотоэлемента нанесена тончайшая плёнка серебра, поверх неё слой окиси цезия, а затем ещё один слой чистого цезия толщиной порядка одной молекулы.

Часть внутренней поверхности колбочки не покрыта цезием и через неё может свободно проходить свет.

Свет попадает на цезиевый слой (фотокатод) и выбивает из него электроны, которые притягиваются к положительно заряженному аноду. Анод представляет собой кольцо, расположенное в центре колбочки фотоэлемента.

Фотоэлемент ЦГ-3 (рис. 26) имеет небольшие размеры. Анод и катод его выведены к отдельным металлическим цоколям.

Эти фотоэлементы рассчитаны на рабочее напряжение 240 в постоянного тока. При напряжении, большем 300 в, в фотоэлементах происходит самостоятельный газовый разряд, приводящий их в негодность. Ток в темноте в этих фотоэлементах не превышает одной десятой доли микроампера, тогда как при освещении они дают 75—100 микроампер на люмен.

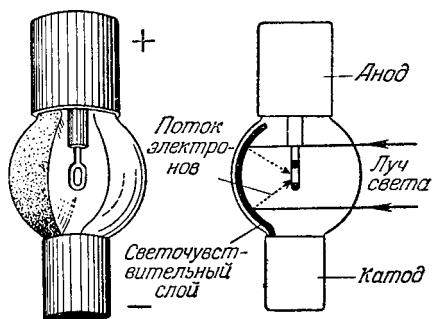


Рис. 26. Газонаполненный фотоэлемент типа ЦГ-3.

Наряду с газонаполненными выпускаются и вакуумные фотоэлементы, имеющие обозначения ЦВ-1, ЦВ-2 и т. д. Чувствительность вакуумных фотоэлементов порядка 20 микроампер на люмен.

В СССР были разработаны также сурьмяно-цезиевые фотоэлементы. Сплав двух металлов—сурьмы и цезия, образующий фотокатод, не обладает многими свойствами металлов. Он не имеет характерного металлического блеска, прозрачен, имеет очень большое сопротивление.

Электрическое сопротивление светочувствительного слоя из сурьмяно-цезиевого сплава достигает десяти миллионов ом. Сурьмяно-цезиевые фотоэлементы чувствительнее и гораздо долговечнее цезиево-кислородных вакуумных фотоэлементов. Их чувствительность постоянна в широких пределах.

Советской промышленностью выпускаются сурьмяно-цезиевые фотоэлементы типов СЦВ-3, СЦВ-4 и СЦВ-51, имеющие чувствительность 80 микроампер на люмен.

Вакуумные и газонаполненные фотоэлементы типа ЦГ, ЦВ и СЦВ, обладающие внешним фотоэффектом, обычно используются совместно с электронными усилителями.

Одна из наиболее распространённых схем усиления фототока изображена на рис. 27. Фотоэлемент нагружен

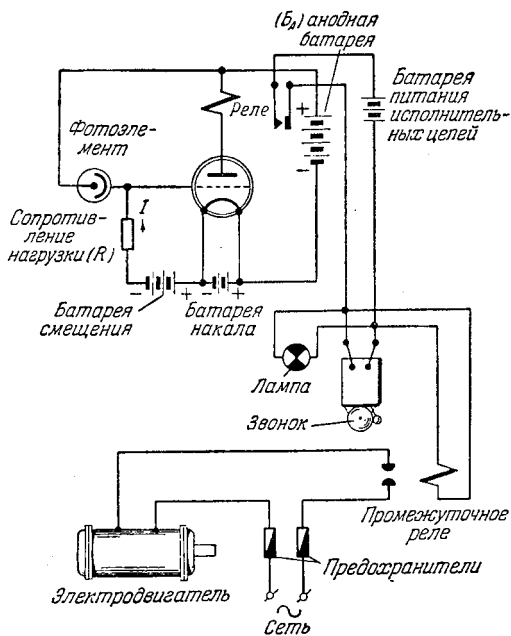


Рис. 27. Принципиальная схема фотореле с исполнительными устройствами.

высокоомным сопротивлением  $R$ , называемым сопротивлением нагрузки. Через это сопротивление на сетку электронной лампы постоянно подаётся отрицательное смещение от электрической батареи. Это сопротивление играет в схеме усиления фототока очень важную роль. Фототок  $I$ , проходя по сопротивлению  $R$ , создаёт на нём падение напряжения  $U = IR$ , которое действует навстречу батарее смещения, уменьшая отрицательный потенциал на сетке лампы.

Если фотоэлемент не освещён, то фототок приблизительно равен нулю, падение напряжения на сопротивле-

нии  $R$  отсутствует и сетка лампы находится только под влиянием отрицательного потенциала батареи смещения.

Лампа в этом случае заперта отрицательным смещением на сетке, и её анодный ток ничтожно мал. По мере увеличения силы света, падающего на катод фотоэлемента, фототок возрастает, отрицательный потенциал на сетке лампы уменьшается и анодный ток её соответственно увеличивается до момента насыщения.

Расчитать усиление фототока, даваемое электронной лампой, очень просто. Возьмём для примера усилительную лампу с тремя электродами (триод). Пусть увеличение напряжения на сетке этой лампы на 1 в вызывает увеличение анодного тока на 2 ма, т. е. крутизна характеристики лампы равна 2 ма на вольт.

Допустим, что при освещённом фотоэлементе его фототок равен одной миллионной доле ампера. Тогда падение напряжения на сопротивлении нагрузки будет равно  $IR = 1 \cdot 10^{-6} \cdot R$  вольт.

Если, например, взять сопротивление нагрузки, равное десяти миллионам ом, то падение напряжения на нём будет равно 10 в. Чем выше сопротивление, тем при том же токе получается большее падение напряжения.

Анодный ток лампы при этом возрастает до  $2 \times 10 = 20$  ма. Фотоэлемент давал всего одну миллионную долю ампера, а в результате усиления этого тока электронной лампой мы получили двадцать тысячных долей ампера.

Усиление фототока получилось равным

$$\frac{20 \text{ тысячных ампера}}{1 \text{ миллионная ампера}} = \frac{0,020}{0,000001} = 20\,000 \text{ раз (!)}.$$

Двадцать миллиампер—это уже такой ток, который может привести в действие не только измерительный прибор, но и более мощные аппараты, например электромагнитное реле.

Якорь электромагнитного реле, включённого в анодную цепь усилительной лампы, будет притягиваться и переключать контакты исполнительной цепи всякий раз, когда на фотоэлемент будет падать свет. Как только свет прекратится, фототок уменьшится почти до нуля и отрицательное смещение батареи  $B_c$  запрет лампу. Анодный ток лампы при этом уменьшится до столь незначительной

величины, что якорь реле, оттягиваемый пружинкой, оторвётся от сердечника и разомкнёт контакты.

Такой световой выключатель, состоящий из фотоэлемента, усилителя и электромагнитного реле, называют коротко—фотореле.

Контактами фотореле можно включать сигнальные лампы, электрические звонки, электромагнитные реле и т. д. Лучи света могут управлять включением или отключением электрических контакторов, а через них— крупными машинами и механизмами, например прокатным станом.

В комплект фотореле обычно входит осветитель, служащий для создания необходимого светового потока. Осветитель состоит из лампы накаливания, помещённой в металлическую трубку с линзами. Линзы собирают рассеянный свет лампы в узкий пучок, направляемый на фотоэлемент. Для осветителей часто применяются электрические лампы с так называемой точечной нитью накала, дающие большую яркость при небольшой поверхности излучения. Часто для этой цели пользуются лампами от кинопроекторных аппаратов или автомобильными лампами.

При управлении с помощью световых лучей на больших расстояниях вместо осветителей с линзами используются рефлекторы типа автомобильных фар или же специальные прожекторы.

Когда необходимо, чтобы луч света был невидим, отверстия осветителя закрывают фильтром, пропускающим только невидимые, инфракрасные лучи. Таким фильтром может служить либо тонкая пластинка эбонита, либо специальное «чёрное» стекло, называемое марблитом.

Фотореле можно питать переменным током от городской сети, так как и фотоэлемент и усилительная электронная лампа обладают односторонней проводимостью, т. е. пропускают электронный поток лишь от катода к аноду.

Схема усиления фототоков при питании фотореле переменным током ничем не отличается от обычного электронного реле на переменном токе. Только в электронном реле лампа управляется сеточным контактом (см. стр. 61), а в фотореле вместо сеточного контакта имеется фотоэлемент, приводимый в действие лучом света (рис. 28).



Фотореле, питаемое от сети переменного тока, при всей своей простоте имеет некоторые недостатки. Электрические провода между сеткой лампы и анодом фотоэлемента образуют ёмкость, указанную на рис. 28 пунктиром. Так как сопротивление фотоэлемента очень велико, то переменный ток может целиком пойти через эту небольшую ёмкость. Вследствие этого через сопротивление будет протекать переменный ток, пропускаемый ёмкостью кабеля. Этот паразитный ток может перекрыть сравнительно более слабые фототоки, и фотореле перестанет реагировать на изменение освещения фотоэлемента. Поэтому схему,

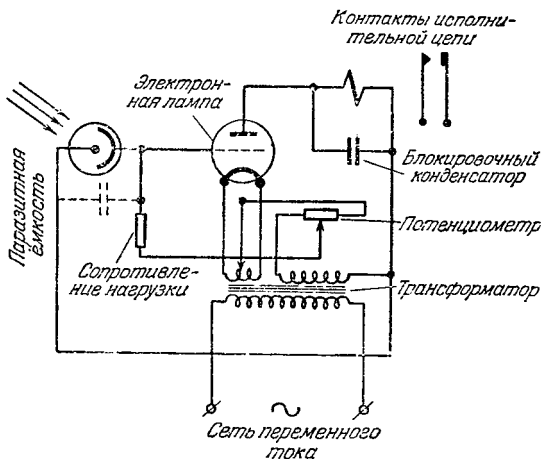


Рис. 28. Схема фотореле на переменном токе.

изображённую на рисунке, можно применять только в тех случаях, когда длина проводов от сетки усилительной лампы до фотоэлемента невелика (порядка одного метра).

Важное значение имеет также сопротивление изоляции соединительных проводов. Если сопротивление изоляции проводов будет равно или меньше сопротивления фотоэлемента, то токи утечки опять-таки перекроют фототоки и фотореле нормально работать не будет.

Вторым недостатком схемы фотореле на переменном токе является необходимость либо применять медленно действующее на отпускание электромагнитное реле или включать блокировочный конденсатор, иначе реле будет пульсировать с частотой переменного тока.

Иногда одного каскада усиления бывает недостаточно. В этих случаях применяют многоламповые электронные усилители. Предел усиления фотоэлектронных устройств определяется внутренним «шумом» ламп, вызываемым неравномерным вылетом электронов из катода (так называемый дробовой эффект), тепловым движением электронов, вторичной эмиссией с электродов радиолампы, ионизацией остатков газа в электронной лампе и т. д. Поэтому, если поступающий на сетку лампы сигнал очень мал, то собственные «шумы» будут его заглушать.

Таким образом, усиливать можно только такие сигналы, величина которых заметно превосходит уровень собственных «шумов» радиолампы.

Ламповые усилители применяют главным образом тогда, когда важно сохранить пропорциональность между усиленным током и световым потоком.

Когда фотоэлемент используется в качестве реле, реагирующего лишь на присутствие или отсутствие света, электронные лампы можно заменять тиратронами.

Кроме фотоэлементов, основанных на внешнем фотоэффекте, существуют и другие типы фотоэлементов. К ним, в частности, относятся так называемые вентильные фотоэлементы, разработанные в результате изучения твёрдых детекторов, обладающих способностью проводить электрический ток в одном направлении. Основное отличие вентильных фотоэлементов от фотоэлементов, основанных на внешнем фотоэффекте, заключается в том, что они сами вырабатывают электрическую энергию, не требуя никаких посторонних источников тока (электрических батарей, сети переменного тока и т. д.). В вентильных фотоэлементах фотоэлектрический эффект происходит на границе соприкосновения двух веществ в том случае, если между ними существует тончайшая прослойка из плохо проводящего вещества. Толщина этого слоя ничтожна и равна всего лишь нескольким миллионным долям сантиметра. Этот тончайший слой полупроводника обладает способностью пропускать электроны, освобождаемые из металла под действием световой энергии, только в одном направлении. В обратном же направлении движение электронов сильно затруднено. Этот тончайший слой полупроводника обычно называют «запирающим» слоем.

Первый в мире фотоэлемент с запирающим слоем был создан профессором Казанского университета В. А. Улья-

ниным в 1888 году. Пластика из селена (полупроводник) с тонким слоем другого металла под воздействием света становится источником электрической энергии.

Проходя через прозрачный полупроводник, свет попадает на границу между полупроводником и проводником, т. е. на «запирающий» слой. Полупроводник и проводник заряжаются при этом разноимённо. Электроны из полупроводника переходят в проводник, заряжая его отрицательно. Обратного же перехода электронов из металла в полупроводник не происходит, так как граница между металлом и полупроводником пропускает электроны только в одном направлении.

В дальнейшем были разработаны и другие типы фотоэлементов с запирающим слоем: меднозакисные, серногаллиевые и другие.

Очень просты в изготовлении меднозакисные фотоэлементы. Пластики красной меди толщиной в 1 мм нагревают почти до температуры плавления ( $1050-1060^\circ$ ) и быстро охлаждают в воде. При этом медная пластинка покрывается тонким (около 0,1 мм) слоем закиси меди рубиново-красного цвета. С обратной стороны пластинку очищают, а на слой закиси распылением наносят тонкий прозрачный слой золота или накладывают металлическую сетку для контакта (рис. 29). При освещении на обратной (чистой) стороне медной пластинки образуется отрицательный полюс, а на контактной сетке—положительный полюс.

В цепи такого фотоэлемента достаточно надёжно работает реле высокой чувствительности и с малым внутренним сопротивлением, причём дополнительные усилители не требуются. Усиливать эти фототоки без сложных приспособлений затруднительно, потому что напряжение, создаваемое фотоэлементом, крайне мало, что является существенным недостатком вентильных фотоэлементов.

Второй недостаток заключается в большой инерционности, обусловленной значительной ёмкостью системы медь—закись меди, играющей роль конденсатора. В описываемом фотоэлементе свет должен пройти сквозь слой закиси, которая действует как красный светофильтр. Поэтому чувствительность фотоэлемента к зелёному свету очень мала, зато велика к красным и инфракрасным лучам.

Бывают и другие фотоэлементы, у которых запирающий слой образуется между закисью меди и тонкой, прозрачной плёнкой металла, через которую проходит свет. В этом случае электроны из закиси меди вылетают вверх и, следовательно, полярность фотоэлемента ме-

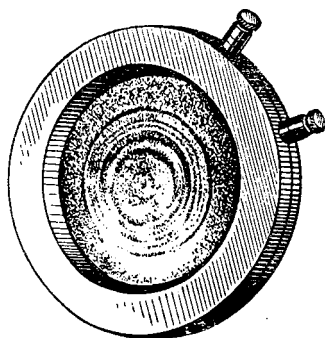
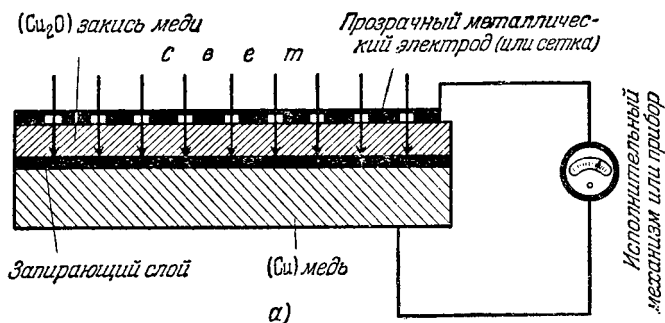


Рис. 29. Меднозакисный фотоэлемент:  
а) схема; б) общий вид.

няется. На чистой меди получается положительный полюс, а на контактирующем слое металла, или на сетке, — отрицательный. Такие фотоэлементы называют фотоэлементами с фронтальным фотоэффектом.

В фотоэлементах с фронтальным фотоэффектом свет проходит сквозь очень тонкую, прозрачную плёнку золота, нанесённую на слой закиси. Отдача тока у них значительно выше, чем у фотоэлементов с тыловым фото-

эффектом, а чувствительность к зелёным лучам света гораздо больше. К красным же лучам они чувствительны лишь немного меньше, чем фотоэлементы с тыловым эффектом.

К фотоэлементам с фронтовым фотоэффектом относятся также железо-селеновые фотоэлементы, изготавливаемые следующим образом. На небольшую железную пластинку наносят слой селена толщиной не более 0,1 мм. Затем пластинку выдерживают при температуре 2000° в течение нескольких часов. Селен принимает мелкокристаллическое строение, меняя при этом окраску от матово-чёрной до серой.

Преимущества железо-селеновых фотоэлементов заключаются в том, что они обладают огромной чувствительностью не только к видимому свету, но и к инфракрасным лучам; для работы они не требуют никаких добавочных источников питания; имеют небольшие размеры и длительный срок службы. Замечательна их большая чувствительность к жёлтым лучам света. В этом отношении они приближаются к свойствам человеческого глаза.

Впрочем, недостатков у этих фотоэлементов тоже немало: большая инерционность, исключаяющая быстрое действие (влияние ёмкости), трудность усиления фото-токов и большая зависимость от температуры. Работает этот фотоэлемент только при температурах ниже 50°C.

В Ленинградском физико-техническом институте изготовлен фотоэлемент с серно-галлиевым запирающим слоем. Этот фотоэлемент по внешнему виду и размерам ничем не отличается от селенового, но чувствительность его почти в десять раз выше.

Интересны также серно-серебряные вентильные фотоэлементы (ФЭСС), разработанные в СССР. Интегральная чувствительность этих фотоэлементов составляет 3500—4500 микроампер на люмен, а отдельные экземпляры обладают интегральной чувствительностью до 8000 микроампер на люмен, примерно в пятнадцать раз большей, чем у железо-селеновых фотоэлементов.

Недостатком серно-серебряных фотоэлементов является их большая инерционность. Запирающий слой этих фотоэлементов очень тонок, вследствие чего ёмкость их доходит до 25 микрофарад на квадратный сантиметр. Ёмкость же железо-селенового фотоэлемента равна 0,045 микрофарады на квадратный сантиметр.

Кроме фотоэлементов с внешним фотоэффектом и с вентильным действием существует ещё один, довольно обширный класс светочувствительных приборов, называемых фотосопротивлениями.

Фотосопротивления—это такие фотоэлементы, электропроводность которых увеличивается под действием падающего на них света. Если тонкую пластинку слюды обмотать двумя тонкими платиновыми проволочками с расстоянием между витками около одного миллиметра и обмакнуть её в расплавленный селен так, чтобы он залил промежутки между проволочками, то мы получим селеновое фотосопротивление (рис. 30).

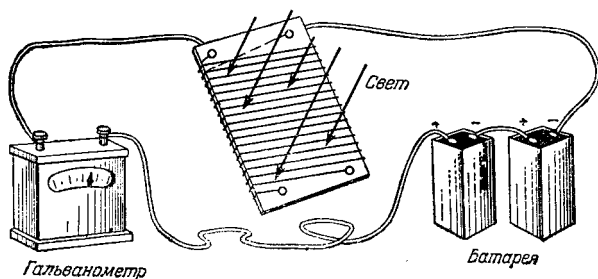


Рис. 30. Селеновое фотосопротивление.

Если в цепь селенового фотосопротивления и батареи включить чувствительное реле, то оно при свете сработает, а в темноте отпустит свой якорь. Инерция у этих фотоэлементов большая, чувствительность же почти такая, как у железо-селеновых фотоэлементов.

Разработаны также таллофидные и серно-свинцовые фотосопротивления с чувствительностью, во много раз большей чем у селеновых фотосопротивлений.

Таллофидные (серно-таллиевые) фотосопротивления имеют спектральную характеристику, простирающуюся далеко в инфракрасную часть спектра. Это даёт возможность применять их в качестве индикаторов низкотемпературных источников излучения.

На рис. 31 показана принципиальная схема фотореле с фотосопротивлением.

Таллофидное фотосопротивление включается в одно из плеч мостика. Три другие плеча состоят из сопротив-

лений, равных по величине омическому сопротивлению неосвещённого таллофидного фотосопротивления.

Величина омического сопротивления высокоомных фотосопротивлений при затемнении составляет несколько миллионов ом; под действием лучей света сопротивление уменьшается на 60—75%.

Как известно, при равных сопротивлениях плеч мостика разность потенциалов на концах его диагонали равна нулю. Таким образом, если в диагональ мостика

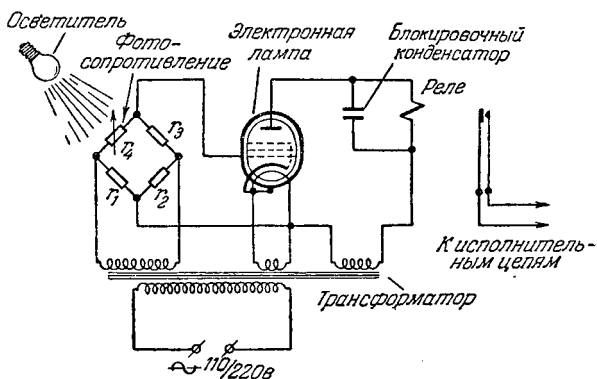


Рис. 31. Фотореле с фотосопротивлением, включённым в одно из плеч мостика.

включить управляющую сетку усилительной лампы, то на сетке будет нулевой потенциал. При изменении светового потока электрическое равновесие мостика нарушается и сетка отпирает лампу, в анодную цепь которой включено обычное электромагнитное реле.

\* \* \*

Долгие годы радиотехникам доставлял большие неприятности так называемый динатронный эффект. Электроны, вылетая из катода усилительной лампы, ударялись об анод и выбивали оттуда вторичные электроны, которые нарушали правильную работу радиолампы. От этих электронов пытались всячески избавиться. Специальные антидинатронные сетки, устанавливаемые в баллонах радиоламп, уничтожали помехи от влияния вторичных электронов.

Советский изобретатель Л. А. Кубецкий использовал динатронный эффект, заставив вторичные электроны при-

носить пользу. Он сделал фотоэлемент (рис. 32) с несколькими анодами и к каждому из них подвёл напряжение, большее чем к предыдущему. Электроны, вырванные светом из катода, летят на первый, поблизости расположенный анод и выбивают из него вторичные электроны. Эти электроны движутся на соседний, второй анод, и вновь выбивают по нескольку электронов. В конце трубки—на последнем аноде—будет уже целая лавина электронов, которая в замкнутой внешней цепи образует

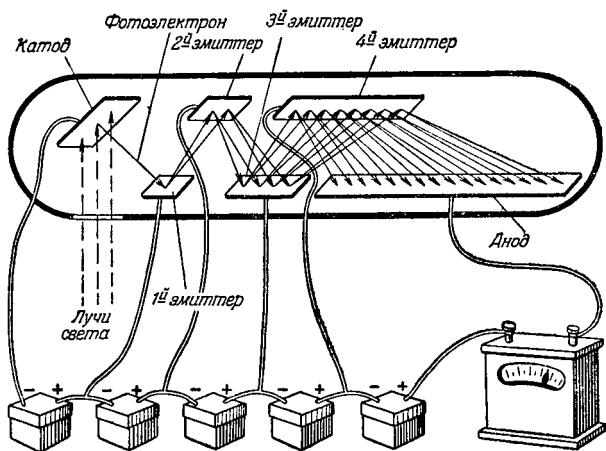


Рис. 32. Упрощённая схема фотоумножителя.

значительный ток. Такие приборы называются фотоумножителями.

Во Всесоюзном электротехническом институте профессором П. В. Тимофеевым была разработана высокочувствительная многокаскадная электронная трубка, также использующая динаatronный эффект для усиления фототоков.

Наряду с фотореле, в основе действия которых лежит фотоэффект, в современной технике для целей автоматики применяются и другие типы реле, реагирующие на наличие или отсутствие света. Например, большой интерес представляют так называемые фотохимические реле, действие которых основано на возникновении химической реакции между газообразными хлором и водородом под действием световых лучей. Если эти два газа



в равных объёмах поместить в пробирке и подвергнуть их действию света, то в пробирке образуется соляная кислота.

Фотохимическое реле состоит из маленькой стеклянной колбочки, заполненной наполовину газообразным водородом и наполовину водным раствором соляной кислоты (рис. 33).

В нижнюю часть колбочки впаяны две платиновые пластинки—электроды. Электроды соединены с источником постоянного тока и осуществляют электролиз раствора, в процессе которого внутри колбочки выделяются

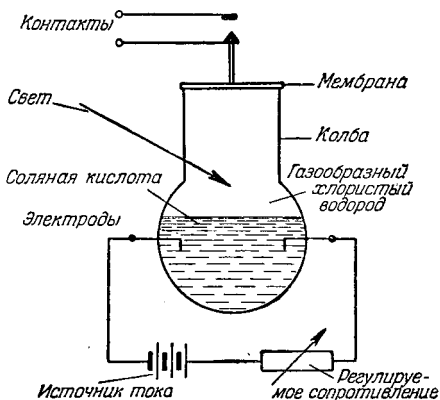


Рис. 33. Принципиальная схема простейшего фотохимического реле.

водород и хлор. Колбочка находится в темноте, и оба эти газа между собой не реагируют—в колбочке создаётся значительное давление. Верхняя часть колбочки закрыта тонкой гибкой мембраной, к которой приделан контакт. Когда давление внутри колбы повышено, эта мембрана изгибается и замыкает контакт. Если колбочку осветить, хлор и водород соединятся, давление уменьшится и мембрана опустится, размыкая электрическую цепь.

Наибольшее распространение получили фотоэлектрические реле с вакуумными и газонаполненными фотоэлементами. Они применяются всюду, где необходимо отмечать прохождение некоторых тел в контролируемой зоне без механического соприкосновения с этими телами.

Такая установка была, например, применена автором на одном из химических заводов для автоматической

сигнализации падения уровня вещества (рис. 34). В закрытой кабине находится машина для смешивания двух сыпучих веществ—дезинтегратор. Машину необходимо останавливать, если уровень загруженного вещества опускается ниже нормы. Иначе дезинтегратор будет работать вхолостую, а это по технологическим и экономическим соображениям недопустимо.

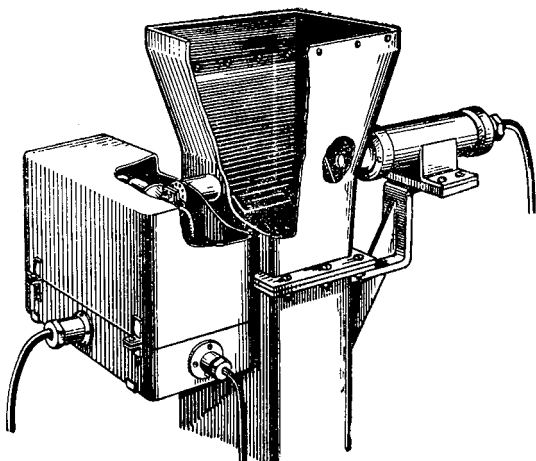


Рис 34. Фотореле дезинтегратора (справа—осветитель).

Установленное в дезинтеграторе фотореле даёт звуковую сигнализацию при падении уровня вещества ниже нормы, а затем через несколько минут автоматически отключает электродвигатель.

Фотореле дезинтегратора работает в очень тяжёлых условиях (пыль, тряска, удары). Несмотря на это, оно редко нуждается в ремонте и действует чётко и безотказно

### Глава III УСИЛИТЕЛИ

Чувствительные элементы, датчики и другие измерительные элементы различаются по методам преобразования, которые можно классифицировать следующим образом.

Метод прямого преобразования без усиления (рис. 35, а) заключается в том, что

энергия измерительной цепи непосредственно используется для образования вторичного явления. По методу прямого преобразования без усиления действуют центробежный тахометр, поплавковый измеритель уровня, пружинный манометр, термоэлемент, пьезоэлемент и другие устройства, не нуждающиеся в источниках вспомогательной энергии. Существенным является также отсутствие в них

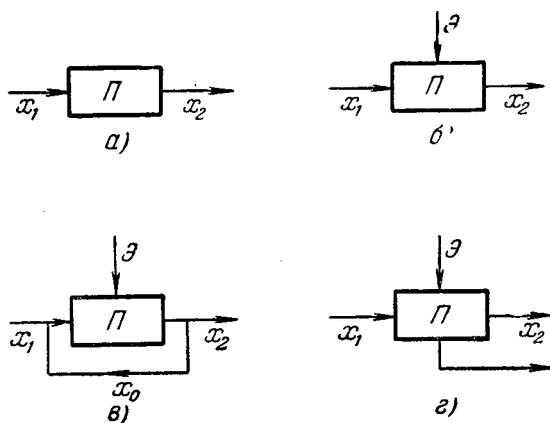


Рис. 35. Схемы преобразователей основных типов.

обратных связей и процессов компенсации измеряемой величины другой, вспомогательной величиной.

Метод прямого преобразования с усилением (рис. 35, б) отличается тем, что первичное явление воздействует на изменяющееся сопротивление в цепи вспомогательного источника энергии и тем самым меняет поток энергии. На этом методе основаны все усилители без обратных связей, а также чувствительные элементы и датчики типа сопротивлений. Процесс усиления сводится к регулированию потока вспомогательной (большой) энергии сравнительно слабым входным сигналом. Таким образом, механический, гидравлический, магнитный, электрический, электронный и другие усилители можно представить в виде тормоза, клапана, дросселя, сопротивления или, вообще, некоторого регулирующего органа в канале большой энергии.

Метод усиления с обратной связью (рис. 35, в) приближает к компенсационным устройствам.

Он характеризуется тем, что некоторая часть большой энергии возвращается ко входу преобразователя для увеличения или уменьшения коэффициента усиления. Если обратный сигнал складывается с входным сигналом, то обратная связь называется положительной. В этом случае коэффициент усиления резко возрастает, но устойчивость уменьшается и устройство может стать генератором незатухающих колебаний. Если обратный сигнал вычитается из входного сигнала вследствие противоположной полярности или фазы, то обратная связь называется отрицательной. В этом случае коэффициент усиления снижается, но преобразование становится более точным и устойчивым.

Метод следящего преобразования (рис. 35, в) является развитием метода усиления с обратной связью, когда последняя выполняет функции уравнивания. Следящее преобразование возможно только с применением автоматизированных компенсационных схем, работающих в режиме автоматического регулирования. На основе этого метода разработаны наиболее совершенные устройства автоматического контроля и управления—автоматические потенциометры, компенсационные усилители, радиолокационные следящие системы, установки дистанционного управления мощными механизмами, электромеханические счётно-решающие приборы и т. д. Необходимо подчеркнуть, что автоматическое регулирование применяется не только для обслуживания рабочих машин и технологических процессов, но и для элементарных преобразований физических величин. Чувствительные элементы и датчики компенсационного типа, действующие по методу следящего преобразования, по существу, также являются автоматическими регуляторами.

Метод развёртывающего преобразования (рис. 35, г) также связан с применением компенсационных схем, но отличается тем, что вместо непрерывного уравнивания и слежения за изменениями контролируемой величины при нём осуществляется циклическое уравнивание, с образованием кратковременных сигналов—отметок. По точности, устойчивости и универсальности этот метод не только не уступает методу следящего преобразования, но в некоторых отношениях и превосходит его.

Следящие и развёртывающие системы обладают свойствами усилителей, так как механическая мощность на выходе этих систем во много раз превосходит электрическую или механическую мощность входных сигналов.

Ниже будут рассмотрены только простейшие усилители электрических сигналов без обратных связей, действующие по принципу регулируемого клапана в канале большой энергии.

## Электронные усилители

Основной функцией трёхэлектродной лампы является усиление мощности. Это означает, что электронная лампа может управлять энергией, во много раз большей, нежели та энергия, которая подводится для управления.

Если необходимо усиление весьма малых токов или напряжений, то обычно применяют многокаскадные (многоступенчатые) усилители с несколькими электронными лампами. В многокаскадных усилителях каждая последующая лампа усиливает ток предыдущей лампы.

В последнем каскаде усиления для ещё большего увеличения мощности часто применяют тиратроны. Мощность порядка миллионных долей ватта посредством многокаскадного усилителя может быть преобразована в мощности порядка нескольких десятков ватт, а посредством ионных приборов—в мощности порядка нескольких киловатт.

Электронный усилитель—это одно из самых важных средств автоматики и телемеханики. Благодаря применению практически безинерционных электронных усилителей оказалось возможным осуществить автоматическое регулирование сверхскоростных производственных процессов.

Выше было описано применение электронных ламп для создания реле высокой чувствительности.

Рассмотрим подробнее работу лампы в качестве усилителя с плавной характеристикой. Схема электронной трёхэлектродной лампы и её сеточно-анодная характеристика приведены на рис. 36. Анодная цепь лампы с батареей  $B_A$  является каналом большой мощности. Сетка  $C$  играет роль клапана, причём регулирующее действие оказывается изменением электрического потенциала на

сетке. В экспериментальных целях это можно осуществить переключением элементов батареи  $B_c$ .

Если плавно изменять потенциал на сетке лампы в пределах от  $-8$  в до  $+8$  в, то будет получено плавное изменение анодного тока в пределах приблизительно от 0 до 10 ма. Такую примерно характеристику имеет одна половина двойного триода 6Н7 при анодном напряжении 50 в и при сопротивлении нагрузки  $R_H$  в анодной цепи 20 000 ом.

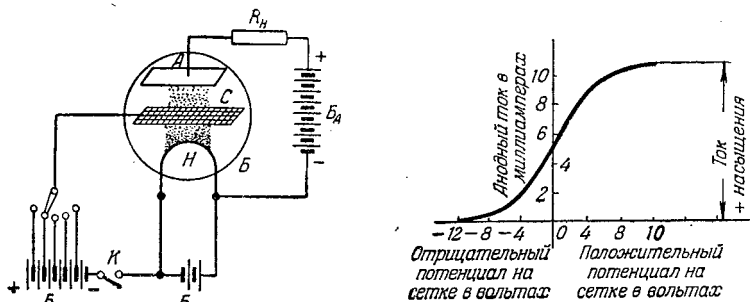


Рис. 36. Схема и характеристика электронной лампы—триода: Б—стеклянный баллон; Н—нить накала; С—сетка; А—анод;  $B_A$ —анодная батарея;  $B_c$ —батарея в цепи сетки;  $B_H$ —батарея накала; К—ключ;  $R_H$ —сопротивление нагрузки.

Сеточно-анодная характеристика изменяется при изменении как анодного напряжения, так и сопротивления нагрузки.

В практических схемах на сетку лампы подаётся усиливаемое напряжение, а сопротивлением нагрузки является обмотка исполнительного двигателя или сопротивление, управляющее следующим каскадом усиления.

### Магнитные усилители

В основе устройства магнитных усилителей лежат явления изменения индуктивности дросселя (катушки) переменного тока при подмагничивании сердечника постоянным током.

Возьмём железный сердечник в форме тороида (рис. 37, а) и поместим на нём две обмотки. Одну из этих обмоток (правую) подключим к цепи переменного тока, а другую (левую)—к цепи усиливаемого постоянного

тока. Оказывается, что сила тока в правой обмотке будет зависеть от величины постоянного тока в левой обмотке.

При увеличении подмагничивания постоянным током магнитная проницаемость и индуктивное сопротивление дросселя будут уменьшаться, вследствие чего возрастет сила тока в правой обмотке.

Таким образом, магнитный усилитель позволяет управлять мощной цепью переменного тока посредством изме-

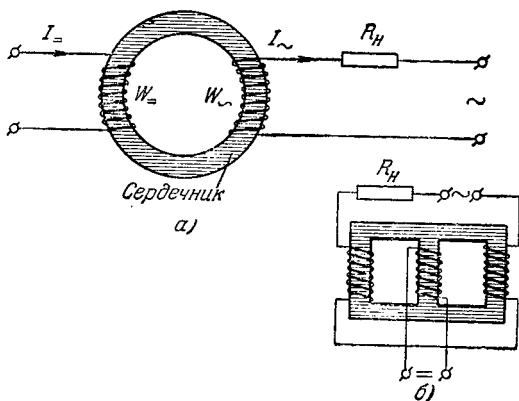


Рис. 37. Простейшие схемы магнитных усилителей:

а) схема с двумя обмотками; б) схема с тремя обмотками.

нения сравнительно небольшого постоянного тока в подмагничивающей обмотке. Каналом большой мощности в этом усилителе является цепь переменного тока с нагрузкой  $R_H$ , а «клапаном» — индуктивное сопротивление.

Коэффициент усиления магнитного усилителя определяется отношением

$$K = \frac{\text{ампервитки переменного тока}}{\text{ампервитки постоянного тока}} = \frac{W_{\sim} I_{\sim}}{W_{=} I_{=}}$$

Коэффициент усиления можно увеличить, применив обратную связь. Обратная связь создается следующим образом. На магнитопровод наматывают дополнительную обмотку подмагничивания, которую питают выпрямленным переменным током самой управляемой обмотки. Дополнительная обмотка, создавая магнитное поле, величина которого в конечном итоге является функцией сиг-

нала, поданного на вход усилителя, позволяет резко увеличить эффект усиления.

Магнитные усилители очень надёжны и выносливы. Они прекрасно работают в аппаратуре, подвергающейся сильным сотрясениям и толчкам, редко требуют ремонта, просты и дешёвы. Вместе с тем, они обладают высокой чувствительностью и большим коэффициентом усиления по мощности (порядка 10 000). Магнитные усилители позволяют усиливать мощность в очень широком диапазоне—от долей ватта до тысяч киловатт.

Единственный недостаток магнитных усилителей—это их относительно большая инерция. Магнитные усилители применяются в тех автоматических устройствах, где с инерцией порядка 0,1 секунды можно не считаться.

В схеме рис. 37, а обмотка переменного тока оказывает сильное обратное влияние на обмотку постоянного тока, наводя в ней э. д. с. Во избежание этого влияния применяют Ш-образное трансформаторное железо (рис. 37, б) с двумя крайними обмотками переменного тока и одной средней обмоткой постоянного тока. Магнитные потоки от среднего керна разветвляются в обе стороны и подмагничивают оба крайних керна, что и требуется. Переменные же магнитные потоки складываются и действуют только по внешнему контуру, не заходя в средний kern.

Практически применяются более сложные дифференциальные и мостовые схемы с дополнительными обмотками смещения для выбора лучших рабочих участков характеристик, а иногда и с обмотками обратной связи.

## Электромашинные усилители

В автоматических устройствах большое распространение получил электромашинный усилитель, представляющий собой генератор постоянного тока, приводимый во вращение каким-либо двигателем.

Как известно, генератор постоянного тока состоит из электромагнитов, укреплённых на его неподвижной части (статоре), и якоря с обмоткой, укреплённого на валу.

Электромагниты создают магнитное поле, которое при вращении якоря индуктирует в его обмотке электродвижущую силу, пропорциональную при прочих равных условиях величине магнитной индукции и числу оборотов машины. Меняя магнитное поле, можно в широких пре-



делах изменять величину электродвижущей силы, а следовательно, и мощности, отдаваемой генератором во внешнюю цепь.

Изменение величины магнитного потока генератора обычно осуществляется регулированием тока возбуждения в обмотке катушек электромагнитов.

В электромашинном усилителе ток, подлежащий усилению, подводится к обмотке возбуждения.

Усиление мощности происходит за счёт первичного двигателя, приводящего во вращение машину.

На рис. 38 показана принципиальная схема современного электромашинного усилителя. Между полюсами генератора  $N$  и  $S$  расположен якорь. На коллектор наложены две пары щёток. Одна пара щёток замкнута накоротко, провода от другой пары щёток присоединены к исполнительной цепи через вторую (компенсационную) обмотку электромагнитов. Через короткозамкнутые щётки проходит большой ток, создающий значительный вторичный магнитный поток. Он направлен под углом в  $90^\circ$  к первичному магнитному потоку  $\Phi_{пр}$  полюсов машины и называется поэтому поперечным.

На рис. 38 поперечный поток якоря показан пунктирными линиями. Другая пара щёток делит обмотку якоря машины на две параллельные ветви. В них будут индуцироваться значительные электродвижущие силы, обусловленные вращением якоря в поперечном магнитном поле. Направления этих электродвижущих сил можно определить по правилу правой руки. Они обозначены крестами и точками на внутренней части проводов

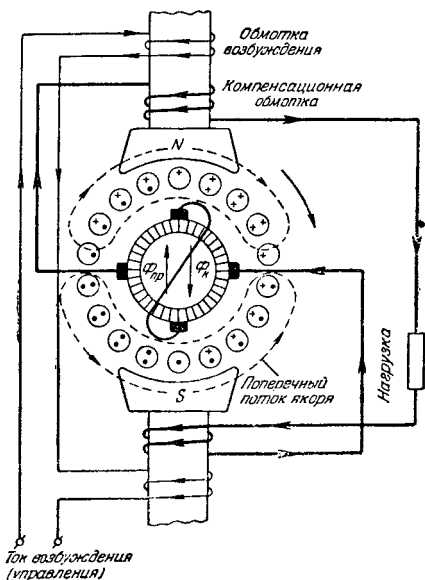


Рис. 38. Принципиальная схема электромашинного усилителя.

якоря. Эти электродвижущие силы создают в главной (управляемой) цепи ток, значительно превосходящий ток возбуждения.

Получается, таким образом, двухступенчатое усиление. Первая ступень—образование поперечного поля якоря, создаваемого слабым током возбуждения. Вторая—образование э.д.с. при вращении якоря в его поперечном поле. Коэффициент усиления в электромашинах усилителях может быть доведён до 10 000. Если, например, мощность в обмотке возбуждения равна 1 *вт*, то мощность в цепи управления может доходить до 10 *квт*.

Проходящий по обмотке якоря ток нагрузки создаёт свой магнитный поток, направленный навстречу магнитному потоку полюсов машины. Это вызывает нежелательное явление размагничивания. Для компенсации размагничивающего действия потока якоря на полюсы машины накладывается особая компенсационная обмотка, по которой проходит ток управляемой цепи. Чем больше ток, тем больше размагничивающий магнитный поток, но зато тем большим будет и магнитный поток  $\Phi_k$ , создаваемый компенсационной обмоткой. В результате размагничивающее действие магнитного поля якоря практически равно нулю.

Электромашины усилители (называемые также амплидинами), позволяют осуществлять плавное управление огромными производственными агрегатами и машинами.

### Кристаллические усилители

В 1922 году сотрудник Нижегородской радиолaborатории имени В. И. Ленина О. В. Лосев установил, что детекторные кристаллы могут не только выпрямлять переменный ток, преобразуя его в постоянный, но также генерировать и усиливать электрические колебания. Однако только в последние годы техническая мысль радиоинженеров вновь вернулась к незаслуженно забытым кристаллическим детекторам. Были разработаны новые типы усилителей, основанных на совершенно иных физических принципах, нежели электронные лампы. В частности, был разработан кристаллический германиевый триод.

Первые сообщения о возможности усиления переменных токов с помощью кристаллического триода появились в печати в начале 1948 года. Кристаллический германие-

вый триод, называемый иначе транзистором, по своим функциям приближается к обычной трёхэлектродной радиолампе, размеры же его значительно меньше и условия использования проще. Транзистор имеет вид цилиндра высотой 12 мм и диаметром 5 мм. Он не требует применения вакуума, а также каких бы то ни было источников питания для подогрева катода и весит вместе с защитным кожухом не более 1,5 г.

Транзистор (рис. 39) состоит из германиевой пластинки и двух тонких проволочек с острыми концами, прикасающимися к этой пластинке. Расстояние между остриями проволочек в месте их соприкосновения с германиевой пластинкой составляет около 0,1 мм. На одну проволочку подаётся небольшое напряжение (порядка 1 вольта). Эта проволочка, называемая эмиттером, играет роль катода в электронной лампе. На другую проволочку, называемую коллектором, подаётся напряжение порядка 50 вольт. Эта проволочка аналогична аноду трёхэлектродной радиолампы. Нижняя поверхность германиевой пластинки покрыта тонким слоем металла и покоится на металлическом основании. С этой стороны контакт имеет большую площадь и его электрическое сопротивление невелико. Основание играет роль сетки. Проволочки изготавливаются из вольфрама и концы их подвергаются специальной обработке (электролитической полировке), что необходимо для получения устойчивого надёжного контакта.

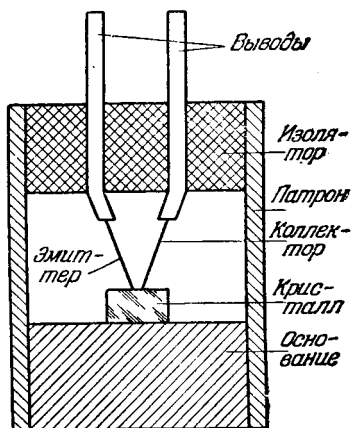


Рис. 39. Схема устройства кристаллического усилителя (транзистора).

Применяются три схемы включения кристаллического усилителя<sup>1)</sup>. Усилитель напряжения (рис. 40) имеет общую

<sup>1)</sup> Пумпер Е. Я., Кристаллические диоды и триоды. Массовая радиобиблиотека, вып. 188, Госэнергоиздат, 1953; Кристаллические выпрямители и усилители, под ред. С. Г. Калашникова, Сов. радио, 1954.

точку на основании. Усилитель напряжения, напоминающий электронный ламповый каскад с заземлённым катодом, имеет общую точку на эмиттере. В усилителе тока, имеющем сходство с ламповым катодным повторителем, общая точка находится на коллекторе. В первой из этих схем достигается усиление по напряжению порядка 40, по току—меньше единицы. Во второй схеме—соответственно 20 и 20. В третьей—1 и 40.

Остановимся на схеме рис. 40. Эмиттер, к которому приложен положительный потенциал порядка 0,1 вольта,

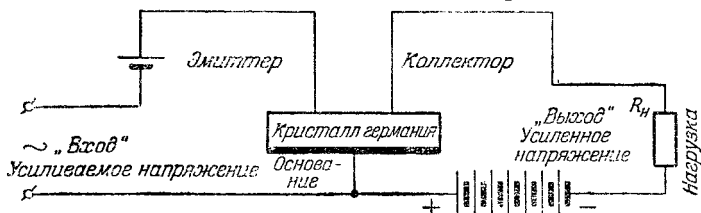


Рис. 40. Принципиальная схема включения кристаллического усилителя.

создаёт (эмиттирует) электрические заряды, распространяющиеся в основном объёме кристалла. Этими зарядами управляется относительно большой ток коллектора и на нагрузке появляется повышенное напряжение.

### Диэлектрические усилители

Диэлектрические усилители также принадлежат к новым видам усилителей, разработанных в последнее время. Так же как и магнитные или кристаллические усилители, они обладают большими достоинствами, выгодно отличающими их от электронных усилителей. Диэлектрический усилитель имеет небольшие размеры, в нём нет нити накала, которая может перегореть, как это бывает в электронных лампах. Диэлектрический усилитель не боится механических вибраций, больших ускорений (каковые имеют место, например, при запуске ракетного реактивного двигателя) и вообще отличается чрезвычайной прочностью.

Эти усилители экономичны, так как они не расходуют электроэнергии на подогрев катода, как это имеет место в электронных лампах.

В основе устройства диэлектрических усилителей лежит свойство конденсатора менять свою ёмкость (следовательно, и сопротивление переменному току) в зависимости от изменения диэлектрической проницаемости изолирующих прокладок между его пластинами.

Диэлектрическая проницаемость любого изолятора несколько изменяется при подаче напряжения на пластины конденсатора. Наиболее резко это изменение наблюдается не в обычно применяемых изоляторах (бумага, фарфор, стекло и т. д.), а в некоторых химических соединениях. К ним относятся, например, изоляторы из ти-

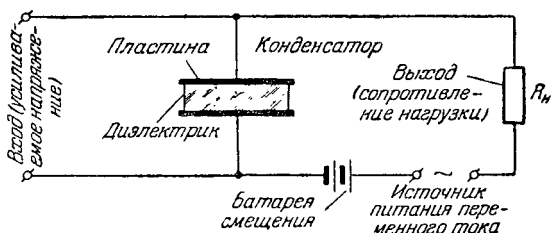


Рис. 41. Простейшая схема диэлектрического усилителя.

таната бария, из смеси его с титанатом стронция, а также цирконаты бария и свинца.

На рис. 41 изображена простейшая схема диэлектрического усилителя. Центральным звеном этой схемы является электрический конденсатор, между металлическими пластинами которого находится изолятор, например, из титаната бария. К пластинам конденсатора подводится напряжение, которое нужно усилить. Это — «вход» усилителя. К тем же самым пластинам конденсатора присоединена цепь, составленная из электрической батареи (батарея смещения), источника переменного тока и сопротивления нагрузки (потребитель усиленного напряжения). Пока входная цепь разомкнута, через сопротивление нагрузки идёт переменный ток определённой величины. Величина тока зависит от напряжения источника питания и сопротивлений: нагрузки, батареи, генератора и, наконец, самого конденсатора. При подаче на вход изменяющегося напряжения изменяется ёмкостное сопротивление конденсатора, а следовательно, и ток, проходящий в цепи нагрузки. От момента подачи управляющего на-

пряжения до момента возрастания тока на «выходе» усилителя проходит одна десятимиллионная доля секунды. Такова «инерция» этого замечательного устройства.

Диэлектрические усилители подобно магнитным усилителям могут с успехом применяться в автоматике для реле и регуляторов. Недостатком этих усилителей является сильная зависимость их работы от температуры.

Практически применяются более сложные схемы<sup>1)</sup>, так как в показанной схеме переменный ток вспомогательного источника проходит во входную цепь.

К усилителям электрических напряжений и токов относятся также электромеханические устройства типа компенсационных датчиков и следящих систем, в которых при помощи электронных усилителей приводятся в действие электрические двигатели, производящие уравнивание усиливаемой электрической величины и одновременно регулирующие выходную электрическую цепь большой мощности.

К числу неэлектрических усилителей относятся механические, фрикционные, гидравлические, пневматические и другие усилители. С некоторыми из них мы познакомимся в дальнейшем.

## Глава IV

### ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА И ДВИГАТЕЛИ

В автоматике и телемеханике различаются исполнительные устройства измерений и исполнительные устройства управления или регулирования. К первым относятся: сигнальные лампы, звонки, гудки, указывающие, регистрирующие и учитывающие приборы, сортирующие, отбраковывающие, дозирующие и другие устройства. Ко вторым относятся устройства, непосредственно воздействующие на технологические процессы или на работу машин: выключатели и регулировочные реостаты, клапаны, вентили и задвижки, муфты, редукторы и путевые стрелки, рули управления и т. д. Все перечисленные устройства снабжаются электрическими, гидравлическими или пневматическими двигателями для обеспечения автоматического или дистанционного их действия.

---

<sup>1)</sup> См., например, «Электричество», 1953, № 5, стр. 89.

## Исполнительные устройства

Исполнительное устройство измерительных автоматов— это часть измерительного прибора, выполняющая заключительные операции, необходимые для указания, регистрации, учёта, сигнализации, сортировки, анализа и т. д.

Исполнительное устройство состоит из преобразователя, отображающего результат измерений нужными движениями (или состояниями рабочих органов), и самих рабочих органов.

Наряду с этими простейшими устройствами автоматических измерений существуют и более сложные. В сложных системах автоматических измерений исполнительные устройства представляют собой конструктивно обособленные агрегаты. Эти агрегаты соединяются с промежуточными преобразователями и первичными чувствительными элементами или датчиками при помощи механических, гидравлических, пневматических, электрических и других передаточных звеньев.

Указывающие исполнительные устройства дают количественные значения контролируемых величин. Это могут быть приборы, имеющие шкалы со стрелками, наборы переставляемых цифр, стробоскопические устройства, электронно-лучевые трубки и другие.

Примеров измерительных устройств в повседневной производственной практике и в быту—множество. Это— вольтметры, амперметры, ваттметры, измерители давления, влажности, скорости, температуры и т. д. Примером исполнительных устройств, в которых указание производится перестановкой цифр, может служить обычный счётчик электроэнергии.

Регистрирующие исполнительные устройства могут быть легко получены из указывающих, если к ним добавить пишущие приспособления.

Учитывающие исполнительные устройства—это счётчики, сумматоры, интеграторы и прочие подобные им механизмы. Учитывающие исполнительные устройства автоматически производят подсчёт количества изготовленных изделий, выработанной энергии, израсходованного материала, пройденного пути и так далее. Учитывающие устройства не только подсчитывают заданную величину, но могут также и зарегистрировать

измеренные данные на бумажной ленте. Одной из важных разновидностей исполнительных устройств являются автоматические аппараты, выполняющие сложные математические действия над результатами измерений, — с ч ё т н о р е ш а ю щ и е у с т р о й с т в а .

К с и г н а л и з и р у ю щ и м и с п о л н и т е л ь н ы м у с т р о й с т в а м относятся: сигнальные электрические лампы, гудки, сирены, звонки, бленкеры (электромагнитные реле с флажками) и так далее. Сигнализирующие исполнительные устройства имеют только два рабочих состояния и сообщают обслуживающему персоналу либо о наличии, либо об отсутствии контролируемого явления. Чаще всего это сигналы «включено», «отключено».

Иногда сигнализирующие исполнительные устройства объединяются в группы, образуя так называемые мнемонические схемы, автоматически отображающие состояние производственного оборудования.

С о р т и р у ю щ и е и с п о л н и т е л ь н ы е у с т р о й с т в а служат для автоматического распределения контролируемых изделий по ряду каналов в зависимости от значений измеренных величин и заданных допусков. Они контролируют и сортируют предметы (изделия) по цвету, твёрдости, размерам, качеству обработки и другим признакам.

А н а л и з и р у ю щ и е и с п о л н и т е л ь н ы е у с т р о й с т в а производят разделение сложных составов, явлений или состояний на простейшие элементы. Затем эти простейшие элементы измеряются, и результат измерений фиксируется.

Кроме перечисленных групп исполнительных устройств существуют автоматические дозаторы, балансирующие устройства, устройства, отмечающие дефекты, и многие другие. Особенно интересны и важны исполнительные устройства, посредством которых создаются регулирующие или управляющие воздействия на рабочие машины.

Под исполнительным механизмом в этом случае принято понимать конечный элемент в устройствах дистанционного или автоматического управления и регулирования. В одних случаях исполнительные механизмы приводятся в действие непосредственно измерительными устройствами, часовыми механизмами или рукой человека.



В других случаях, когда требуется большая мощность и автоматическое действие, применяются промежуточные усилители и двигатели.

Для прерывистого управления электрическими цепями по принципу «включить»—«отключить» применяются контакторы постоянного и переменного тока, для ступенчатого и плавного регулирований—реостаты, движки которых перемещаются при помощи какого-либо небольшого двигателя. Для плавного управления электрическими процессами служат также регулируемые электрогенераторы постоянного и переменного тока, трансформаторы и автотрансформаторы, дроссели насыщения и мощные электронные или ионные устройства.

Простейшие электрические исполнительные механизмы—это электромагниты постоянного и переменного тока. В качестве примера можно привести электромагниты, служащие для дистанционного перевода трамвайных стрелок.

Для сцепления и расцепления ведомого вала с ведущим валом применяются электромагнитные муфты. Однако наиболее распространёнными двигателями для исполнительных механизмов являются электродвигатели постоянного и переменного тока с редукторами и другим вспомогательным оборудованием.

### Электродвигатели постоянного тока

Любой электродвигатель постоянного тока (рис. 42) состоит из статора и ротора. На статоре расположена обмотка возбуждения, создающая магнитное поле, а на роторе— обмотка якоря и коллектор.

Когда по обмотке якоря протекает ток, он взаимодействует с магнитным полем статора, в результате возникает момент, заставляющий ротор вращаться. Вал вращается в подшипниках, укрепленных в боковых крыш-

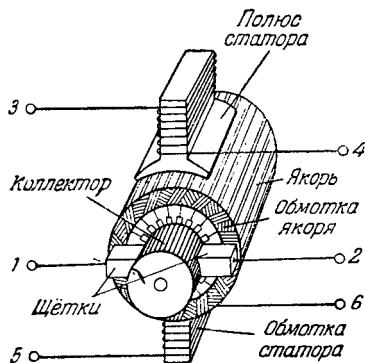


Рис. 42. Устройство электрического двигателя постоянного тока: 1—6 зажимы.

ках статора двигателя. Ток к якорю подводится через меднографитовые щётки и коллектор.

Для автоматических и телемеханических устройств применяются серийные (с последовательным возбуждением) реверсивные двигатели и двигатели с независимым параллельным возбуждением.

В тех случаях, где требуется большой пусковой момент, удобнее применять двигатели с последовательным возбуждением.

В других случаях целесообразнее использовать двигатели с независимым возбуждением и с регулируемым током в цепи якоря.

Схема включения двигателя с последовательным возбуждением показана на рис. 43, а. Двигатель имеет две обмотки возбуждения. При включении тока в одну из них якорь двигателя вращается в одну сторону, а при включении тока во вторую обмотку двигатель реверсируется.

Другой тип двигателя—с параллельным (независимым) возбуждением—даёт возможность плавного регулирования скорости вращения. Поток возбуждения в этом двигателе создаётся с помощью обмотки, питаемой от постороннего источника тока, в частности от усилителя.

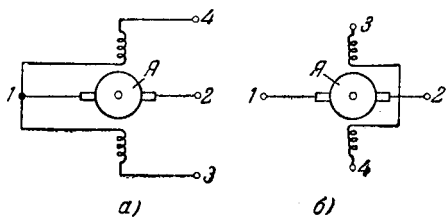


Рис. 43. Схема включения электрических двигателей постоянного тока; *A*—якорь, 1—4 зажимы:  
а) последовательного возбуждения; б) параллельного (независимого) возбуждения.

Схема включения такого двигателя показана на рис. 43, б.

Существуют двигатели независимого возбуждения очень малой мощности (порядка 0,5—5,0 *вт*), в которых магнитный поток создаётся не обмоткой возбуждения, а постоянными магнитами, изготовленными из специальной стали, обладающей после намагничивания большой остаточной магнитной энергией.

Скорость двигателя зависит от величины напряжения, подводимого к его якорю или к обмотке возбуждения.

Направление вращения двигателя можно изменить на обратное, переменяв полярность подводимого к якорю напряжения.

Недостатком двигателей постоянного тока является наличие коллектора со щётками, который создаёт дополнительное сопротивление и ненадёжность в работе. Электродвигатели переменного тока более надёжны.

### Электродвигатели переменного тока

Наиболее распространённым типом электродвигателя переменного тока для автоматических устройств является

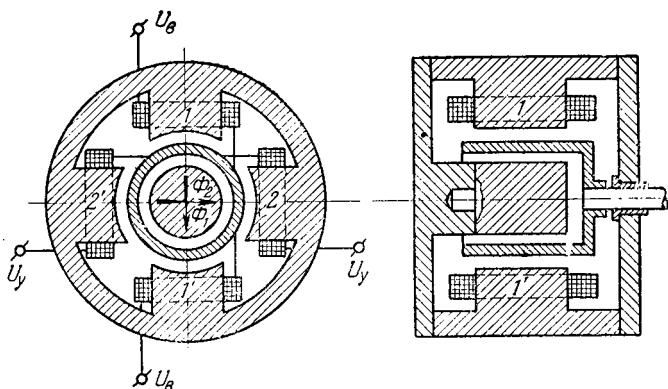


Рис. 44. Схема двухфазного индукционного двигателя.

двухфазный индукционный двигатель. Как и всякий электродвигатель, он состоит из неподвижной части — статора и подвижной — ротора.

В отличие от обычных двигателей переменного тока статор имеет не одну, а две обмотки (рис. 44). Эти обмотки расположены под углом  $90^\circ$  друг к другу на полюсах  $1-1'$  и  $2-2'$ . Одна из них — обмотка возбуждения — питается от сети переменного тока  $U_{в}$ , а другая — управляющая обмотка — питается от усилителя  $U_{у}$ . Переменные токи, протекающие в этих обмотках, сдвинуты один по отношению к другому не только в пространстве, но и по фазе на  $+90^\circ$  или  $-90^\circ$ .

Этим обуславливается величина и знак вращающего момента. От этого зависит и направление вращения электродвигателя. Изменение фазы тока в управляющей обмотке на  $180^\circ$  (от  $+90^\circ$  до  $-90^\circ$ ) вызывает реверсирование двигателя.

Ротор индукционного двигателя может быть выполнен либо в виде «беличьего колеса», либо, как это показано на рис. 44, в виде тонкостенного алюминиевого стакана, вращающегося вокруг неподвижного стального сердечника.

Вращающий момент создаётся за счёт взаимодействия вихревых токов, индуцируемых в роторе магнитными полями статора, с этими магнитными полями.

Вращающий момент пропорционален произведению магнитных потоков  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ , создаваемых обмотками возбуждения и управления. Но так как сами магнитные потоки зависят от величины напряжения на обмотках возбуждения и управления, момент приблизительно пропорционален произведению этих напряжений.

Скорость вращения ротора зависит от величины напряжения  $U_y$ , подводимого к управляющей обмотке. Поэтому изменением напряжения переменного тока в этой обмотке можно в широких пределах менять скорость. Индукционные двигатели обычно строятся для работы при частоте 50 и 500 гц.

Существенным достоинством индукционных двигателей по сравнению с электродвигателями постоянного тока является отсутствие коллектора и контактных щёток. Поэтому потери на трение в этих двигателях невелики. Отсутствие щёток повышает надёжность работы двигателя, так как устраняется опасность нарушения контактов вследствие их срабатывания и подгорания. Исключается необходимость осмотра, смены щёток и т. д.

К недостаткам индукционных двигателей следует отнести в два-три раза больший вес, нежели у двигателей постоянного тока той же мощности.

Следует отметить ещё один электрический двигатель переменного тока, который широко применяется в автоматических устройствах, в особенности в качестве часового механизма. Это — синхронный однофазный двигатель. Он отличается исключительной простотой конструкции и надёжностью в работе.

Схема этого двигателя показана на рис. 45, а. Статором является сердечник, набранный из пластин трансформаторного железа и имеющий полюсные наконечники 1, 2, 3 и 4. На двух из них надеты короткозамкнутые медные витки (кольца) 5 и 6. Полученные таким образом две пары полюсов создают вращающееся магнитное поле при питании катушки 7 от однофазной сети переменного тока.

Переменный ток образует в сердечнике пульсирующий магнитный поток, который расщепляется в полюсных наконечниках и в воздушном промежутке между ними на две составляющие. Одна часть магнитного потока, между наконечниками 1 и 3, пульсирует с частотой и фазой питающего переменного тока, а вторая, между наконечниками 2 и 4, — запаздывает вследствие действия короткозамкнутых витков и, следовательно, пульсирует с другой фазой, но с той же частотой. Таким образом, получаются два переменных магнитных потока, сдвинутых по фазе на некоторый угол один относительно другого, что является необходимым условием создания вращающегося магнитного поля.

Ротор 8 набирается из плоских колец с перемычками, которые штампуются из листовой стали, способной сохранять намагниченное состояние (с большой коэрцитивной силой). После включения катушки 7 в сеть под действием вращающегося магнитного поля в толще колец наводятся вихревые токи, которые взаимодействуют с магнитным полем и приводят ротор в движение по принципу асинхронного двигателя. Однако вскоре ротор приобретает скорость, близкую к синхронной, т. е. увлекается вращающимся магнитным полем и постепенно намагничивается им. Ротор становится постоянным магнитом с фиксированными южным и северным полюсами по концам перемычек колец. После этого вращение происходит по принципу синхронного двигателя.

Обычно ротор вместе с редуктором (рис. 45, б) помещается в кожух из немагнитного материала, который заливается маслом и запаивается. Выступающий стаканчик с ротором вставляется в промежуток между полюсными наконечниками.

В СССР производятся двигатели этого типа со скоростями вращения вала после редуктора 2 об/мин и 60 об/мин при частоте переменного тока 50 гц.

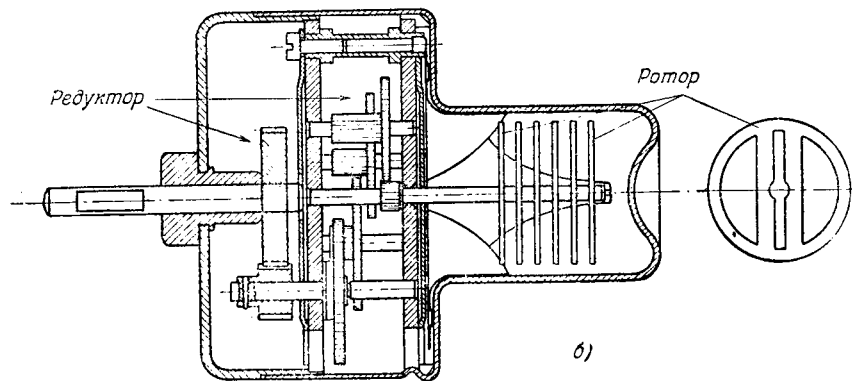
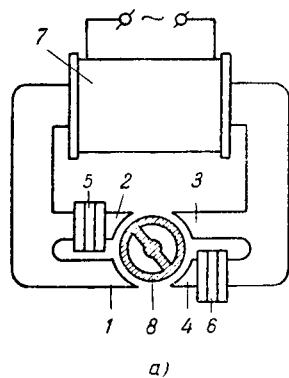


Рис. 45. Синхронный однофазный двигатель:  
а) схема; б) устройство ротора и редуктора.

## Соленоидные двигатели

Для выполнения простых движений типа «открыть» — «закрыть» часто применяют электромагнитные или соленоидные двигатели.

Соленоид (рис. 46) представляет собой цилиндрическую катушку, обмотанную изолированной медной проволокой. При пропускании по обмотке электрического тока она создаёт магнитное поле, которое втягивает внутрь катушки железный стержень (сердечник).

К концу сердечника прикрепляется тяга, связанная с объектом управления.

Для увеличения втягивающей силы в нижней части катушки неподвижно укрепляется короткий железный сердечник, называемый стопом, а катушка помещается в железный цилиндрический кожух. Таким образом, создаётся почти замкнутый магнитопровод с малыми сопротивлением и рассеянием.

Недостатком простого соленоидного двигателя является отсутствие регулировки плавности хода. При включении тока в обмотку соленоида сердечник втягивается рывком. Удар можно смягчить либо воздушным, либо пружинным тормозом.

При выключении тока из обмотки соленоида сердечник автоматически возвращается пружиной, действие которой он преодолевает при втягивании внутрь катушки.

Электромагнитный двигатель другого типа показан на рис. 47. В нём применён Т-образный втяжной якорь, набранный из пластин трансформаторного железа. Так же устроен основной магнитопровод, на полюсах которого, кроме того, помещены короткозамкнутые витки. Такой электромагнит можно питать переменным током.

Двигатели описанного типа находят широкое распространение в качестве электроприводов клапанов, путевых

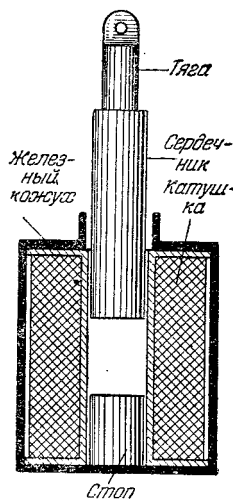


Рис. 46. Схема соленоидного двигателя.

стрелок, мощных выключателей, трансмиссионных муфт и других исполнительных устройств в системах автома-

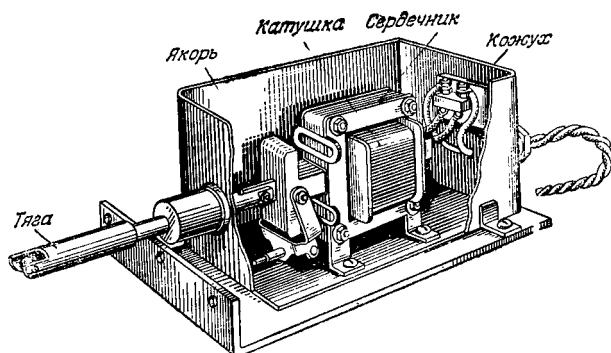


Рис. 47. Электромагнитный двигатель.

тического и дистанционного управления по принципу «открыть»—«закрыть».

### Гидравлические двигатели

Для приведения в действие автоматических и телемеханических устройств часто применяются гидравлические двигатели. Гидравлические двигатели основаны на преобразовании потенциальной энергии сжатой жидкости в

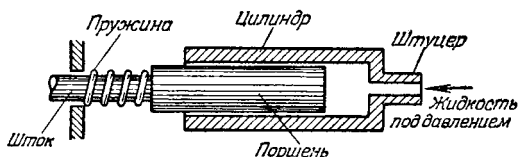


Рис. 48. Схема поступательного гидродвигателя одностороннего действия.

энергию движения. Применяя поршневые и крыльчатые гидравлические двигатели, можно энергию сжатой жидкости использовать для получения как поступательного, так и вращательного движения.

Схема простейшего поступательного гидродвигателя показана на рис. 48. Этот гидродвигатель состоит из полого металлического цилиндра, внутри которого может



двигаться поршень. Когда через штуцер в полость цилиндра поступает жидкость (обычно масло под давлением), то она давит на поршень и последний передвигается, преодолевая действие возвратной пружины.

Для возвращения поршня двигателя в исходное положение штуцер переключается с линии, по которой поступает сжатая жидкость на линию атмосферного давления.

В поступательном двигателе двустороннего действия жидкость в цилиндр поступает то через одно, то через другое отверстие, которые в этой конструкции располагаются по обе стороны цилиндра (рис. 49).

Давление в жидкости распространяется со скоростью порядка одного километра в секунду, т. е. в 300 000 раз медленнее, нежели электрический ток. Но так как гидродвигатель находится на небольшом расстоянии от управляющего устройства (не более нескольких метров), то запаздывание его работы сравнительно невелико. От момента включения

управляющего устройства (кран, вентиль, клапан) до момента трогания поршня проходит приблизительно сотая доля секунды. Так как жидкость практически несжимаема, то при прекращении её подачи в цилиндр гидродвигателя остановка последнего происходит достаточно быстро. Инерция гидродвигателя невелика — его движение после прекращения подачи жидкости в цилиндр практически исключено, так как трение в исполнительных устройствах быстро гасит инерционные силы.

Гидродвигатели с вращательным движением в автоматике и телемеханике применяются значительно реже. Поэтому на их описании мы останавливаться не будем.

Рассмотрим более подробно гидравлический дистанционный следящий привод (рис. 49), служащий для воспроизведения перемещений управляющего устройства

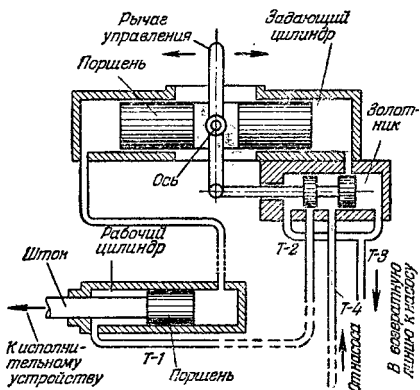


Рис. 49. Схема гидравлического дистанционного следящего привода.

на некотором расстоянии. При этом управляющее устройство может иметь весьма малую мощность, а гидродвигатель, действующий на приводимый им в действие механизм, имеет значительно бóльшую мощность.

Управляющая часть дистанционного следящего привода состоит из рычага управления, механически связанного с золотником и с поршнем задающего цилиндра. Исполнительная часть дистанционного гидропривода представляет собой гидравлический двигатель двустороннего действия, поршень которого связан через шток с исполнительным устройством.

При повороте рычага в левое или в правое положение золотник перемещается в противоположную сторону. При повороте рычага, например, влево золотник перемещается вправо, открывая доступ жидкости из напорного трубопровода в правую полость задающего цилиндра.

Под давлением этой жидкости поршень задающего цилиндра вместе с рычагом управления перемещается влево. Жидкость из левой части задающего цилиндра при этом вытесняется по трубопроводу и поступает в правую полость рабочего цилиндра. В результате всех этих перемещений сжатой жидкости поршень рабочего цилиндра будет двигаться влево, вытесняя жидкость из левой полости по трубопроводам *T-1*, *T-2* и *T-3* в так называемую возвратную линию системы. Эта отработанная жидкость попадает в сборник и затем вновь насосом подаётся по трубопроводу *T-4*.

Вместе с поршнем задающего цилиндра движется влево и ось рукоятки. Поэтому влево передвигается и золотник, перекрывая отверстие, по которому жидкость поступала в правую полость задающего цилиндра. Это—обратная связь гидравлической следящей системы.

При повороте рукоятки вправо поршень рабочего цилиндра перемещается в ту же сторону, т. е. вправо.

Золотник перемещается влево, сообщая левую полость рабочего цилиндра с напорным трубопроводом. Жидкость начинает давить на поршень рабочего цилиндра с левой стороны, передвигая его вправо. Тотчас же возникает обратный ток жидкости из правой части рабочего цилиндра в левую полость задающего. При этом поршень задающего цилиндра передвигается вправо, вытесняя жидкость из его правой полости в золотник и далее в возвратную линию системы.

## Пневматические двигатели

Пневматические двигатели по принципу действия ничем не отличаются от гидродвигателей. Разница лишь в том, что вместо жидкости под давлением в них применён сжатый воздух. Питание сжатым воздухом производится из воздушных баллонов (рабочее давление 50—70 кг/см<sup>2</sup>) или от воздушных компрессоров.

Постоянство давления обеспечивается при помощи предохранительных клапанов, выпускающих часть подаваемого сжатого воздуха в атмосферу при повышении давления сверх установленного значения.

Преимущество пневматических двигателей перед гидравлическими состоит в том, что аппаратура управления ими менее громоздка. Это объясняется тем, что вязкость воздуха значительно меньше вязкости жидкостей, что позволяет применять проходные сечения, в три — четыре раза меньшие чем в гидросистемах.

В качестве пневматических двигателей часто применяют устройства с диафрагмами, деформация которых в ряде случаев бывает достаточной для перемещения исполнительных органов<sup>1)</sup>.

---

<sup>1)</sup> Первов Б. Н., Исполнительные устройства регулирования тепловыми установками, Госэнергоиздат, 1952.

## ЧАСТЬ ВТОРАЯ АВТОМАТИКА

### Глава V

#### АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ

Массовое производство различных изделий требует высокопроизводительных и точных методов контроля. Этим требованиям отвечает автоматический контроль.

Автоматический контроль — понятие весьма широкое. К нему относятся: автоматический контроль размеров и качества обработки различных изделий, автоматический контроль различных физических параметров (температуры, давления, электрического напряжения, цветности, концентрации растворов и т. д.) с указанием абсолютных значений или с сигнализацией отклонений от нормы.

Устройства автоматического контроля осуществляют также автоматический учёт выпускаемой продукции, автоматическую документацию, сортировку и отбраковку и т. д.

Автоматический контроль может быть единичным и централизованным, или множественным. Единичный контроль осуществляется на отдельных производственных операциях. Централизованный контроль даёт в одном месте (диспетчерский пункт) общую картину хода производства.

Как местный, так и централизованный контроль может быть двух видов: контроль предельных значений по принципу «да»—«нет» и непрерывный контроль.

В зависимости от расстояний контроль также разделяется на несколько разновидностей.

Вблизи рабочих машин осуществляется местный контроль, при небольших расстояниях между контролируемым объектом и диспетчерским пунктом — дистанционный контроль, при весьма значительных расстояниях — телемеханический контроль.

Вся современная техника автоматического контроля в основном строится на базе электрических методов, которые позволяют контролировать как электрические, так и неэлектрические величины и передавать их значения практически на любое расстояние.

Механические, химические и другие величины преобразуются в силу тока, напряжение, частоту колебаний, сдвиг фазы и в другие электрические параметры.

Автоматическая сигнализация, представляющая собой контроль предельных значений, применяется для получения обслуживающим персоналом сообщений о ходе работы установок в виде световых, звуковых и других сигналов. Она выявляет характер и место неполадок, привлекает внимание обслуживающего персонала, сигнализируя ему об опасном режиме работы или аварийных состояниях машины или механизма (перегрев подшипников выше допустимого предела, понижение уровня масла в смазывающей системе и т. п.).

При нормальных режимах работы автоматическая сигнализация позволяет обслуживающему персоналу убедиться в том, что всё оборудование находится в полном порядке и что производственный процесс протекает по заранее заданной программе.

Средствами автоматической сигнализации являются: контакты конечного положения поплавков, задвижек и вентиляей; контактные термометры и манометры; разнообразные реле; электрические лампы, звонки, сигнальные клапаны и т. д.

Большое значение в борьбе за высокое качество продукции имеет сортировка изделий. Изделия можно сортировать по размерам, весу, объёму, качеству обработки поверхности, твёрдости, цвету, а также по магнитным, электрическим, оптическим и другим физико-химическим параметрам. Сортировка изделий вручную, особенно при массовом производстве, требует колоссальной затраты труда и времени. Во много раз точнее и быстрее работают автоматические сортирующие устройства. Они автоматически измеряют необходимый параметр, а затем в соот-

ветствии с результатами измерения также автоматически направляют изделие по тому или иному каналу в приёмную тару (ящик, бункер и т. д.).

Любой материал может быть подвергнут автоматической сортировке. Изотопы радиоактивных веществ в настоящее время тоже сортируются посредством автоматических устройств по их атомному весу.

В ряде случаев сортирующие устройства не только измеряют необходимые параметры изделия (его размеры, цвет и т. д.), но и автоматически маркируют его. Эта операция осуществляется путём автоматического опрыскивания изделия краской или постановкой клейма.

Одним из наиболее широко распространённых видов автоматической сортировки является сортировка изделий по линейным размерам.

### Механические методы автоматического контроля

Для сортировки изделий по размерам применяются самые разнообразные чувствительные элементы и контрольные устройства. Наиболее простым устройством является постоянный, т. е. нерегулируемый калибр, через который контролируемое изделие попадает в приёмный канал.

Одним из примеров такого сортировщика может служить устройство, показанное на рис. 50. Как видно из схемы, контролируемые изделия 3 поступают в сортировщик автоматически друг за другом по общему подводящему каналу 2. Этот канал может быть выполнен в виде полой трубки, лотка, салазок и т. д. Опустившись вниз под действием своего веса, изделие с помощью транспортирующего элемента (питателя) 4 поступает в предельный калибр 1. Эта самая важная часть автоматического сортировщика выполняет роль измерителя. Калибр укреплен во втулке 5, которая находится под непрерывным действием стальной пружины 6.

Если изделие имеет нормальный размер, соответствующий диаметру отверстия калибра, или меньший нормального, то оно проходит через последний и падает в приёмный канал 7.

Если же изделие имеет больший размер, то оно не может пройти через отверстие калибра. Под действием

питателя 4 изделие упирается в калибр, сжимая пружину. При этом втулка с укрепленным в ней калибром сдвигается вправо. забракованное изделие при быстром обратном ходе питателя падает в приёмный канал 8.

Таким образом, быстро и точно сортируются изделия по положительному допуску. Однако в канале 7 вместе с изделиями нужных размеров могут оказаться изделия с отрицательным допуском, т. е. меньших размеров. Калибр их пропустит ещё более легко и свободно, нежели изделия нормальных размеров.

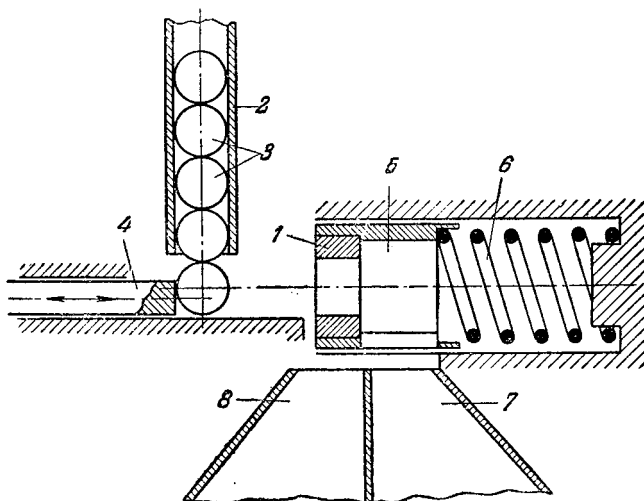


Рис. 50. Двухканальный сортировщик с настроенным чувствительным элементом типа постоянного калибра.

В тех случаях, когда необходимо отсортировать изделия также и по отрицательному допуску, из приёмного канала 7 они поступают в следующий точно такой же сортировщик, как и описанный выше. Калибр, установленный в этом втором сортировщике, имеет отверстие меньшего диаметра, соответствующее величине отрицательного допуска.

Кроме этих весьма простых устройств автоматической сортировки существуют и гораздо более сложные, в которых сортировка изделий осуществляется не по двум, а по многим параметрам.

## Электроконтактные методы контроля

В машиностроении широкое распространение получили электроконтактные методы контроля размеров изделий.

В качестве электроконтактного устройства применяют так называемую электроконтактную головку (рис. 51), имеющую одну пару или несколько пар контактов.

Электроконтактная головка с двумя парами контактов позволяет разделять контролируемые изделия на три группы. Первая группа — изделия требуемого размера, вторая — изделия большего размера, третья — изделия меньшего размера. Применяют также многопредельные измерители с несколькими контактами, которые сортируют изделия на большое число групп.

В результате контроля многопредельными автоматами изделия рассортировываются по допускам на семь групп: (— — —), (— —), (—), 0, (+), (+ +), (+ + +).

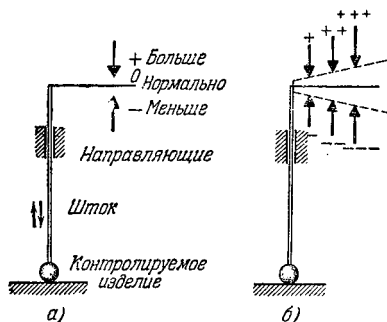


Рис. 51. Схемы измерителей:  
а) двухпредельный измеритель; б) многопредельный измеритель.

Изделия, имеющие размеры, меньшие чем с тремя минусами, относятся к категории неисправимого брака. Изделия, имеющие размеры, большие чем три плюса, — брак, который может быть исправлен.

На рис. 52, а показана схема простейшего электроконтактного устройства для контроля размеров. Как видно из схемы, контакты измерителя непосредственно включают исполнительную цепь, без каких-либо других промежуточных устройств.

Такие электроконтактные измерители применимы главным образом в тех случаях, когда в качестве исполнительного элемента используется высокочувствительный электроизмерительный прибор, потребляющий очень небольшой ток, или сигнальная неоновая лампа. Потребление тока неоновой лампой типа ПМЗ или ФН2 порядка 1,0—1,5 ма при 80—100 в. Такой ничтожный ток не вызывает обгорания контактов.



Более гибкой по своим возможностям является схема, в которой контакты измерителя замыкают цепь питания электромагнитного реле, а уже оно в свою очередь включает исполнительный орган. Такое разделение цепей изме-

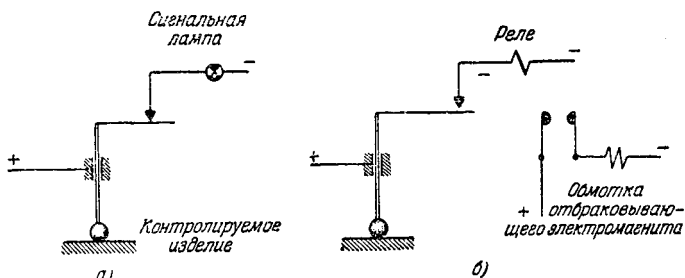


Рис. 52. Схемы измерителей:  
а) с сигнальной лампой; б) с электромагнитным реле.

рительных контактов и исполнительного органа позволяет включать не только сигнальные лампы, но и отбраковывающие электромагниты, потребляющие сравнительно большой ток.

В электрической схеме рис. 53 контакты работают не на замыкание, а на размыкание.

Если изделие имеет нормальные размеры — горят обе лампы: красная и зелёная. Как известно, красный и зелёный цвета являются дополнительными и при смешении дают белый цвет. Таким образом, если через матовое стекло контролёр видит белый свет, то контролируемое изделие имеет нормальный размер. Если размеры изделия больше нормы, то измерительная ножка разомкнёт верхний контакт и красная лампа погаснет. Контролёр увидит зелёный цвет — исправимый брак; при изделиях, меньших нормы, будет гореть одна красная лампа.

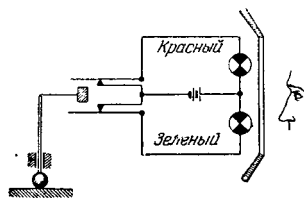


Рис. 53. Один из методов сигнализации при автоматическом контроле размеров.

Схемы с контактами, непосредственно включающими сигнальные лампы или электромагнитные реле, имеют существенный недостаток: искрообразование может вызвать обгорание контактов и нарушение работы всего устройства.

Применение электронных ламп или тириатронов позволяет устранить этот серьёзный недостаток схем с непосредственным контактом. На рис. 54 приведена принципиальная электрическая схема автомата для контроля размеров деталей, передвигающихся на конвейерной ленте.

В схеме контрольного автомата использован двойной триод 6Н7, представляющий собой две трёхэлектродные лампы с общими катодом и нитью накала, смонтированные

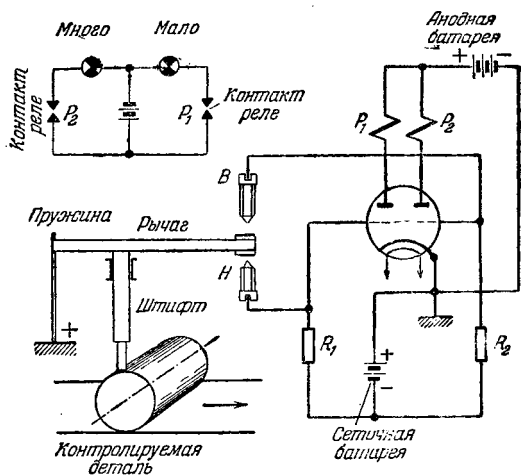


Рис. 54. Принципиальная схема электроконтактного сортировщика.

в одном баллоне. Нижний контакт *Н* управляет левым триодом, а верхний *В*—правым.

Если размер изделия слишком мал, то оно не коснётся измерительного наконечника и нижний контакт будет замкнут. Изделие нормальных размеров приподнимет измерительный стержень настолько, что нижний контакт разомкнётся, а верхний не замкнётся. При слишком большом изделии замкнётся верхний контакт.

При нормальном размере изделия оба триода заперты отрицательными потенциалами на сетках. Замыкание нижнего контакта снимает с сетки левого триода отрицательный потенциал. В анодной цепи левого триода ток возрастает до величины, достаточной для срабатывания электромагнитного реле  $P_1$ . Это реле своими контактами замкнёт цепь питания контрольной лампочки, сигнали-

зирующей о том, что проверяемое изделие имеет брак по минусовому допуску. Одновременно с лампочкой срабатывает соответствующий исполнительный механизм, сбрасывающий негодное изделие с конвейера (на схеме рис. 54 не показан).

При превышении размера детали против нормального контактный рычаг поднимется и замкнёт верхний контакт. На сетку правого триода лампы 6Н7 подаётся при этом положительный потенциал. Триод отпирается и реле  $P_2$  срабатывает, включая своими контактами другую сигнальную лампу и соответствующий механизм, сбрасывающий негодное изделие с конвейера в тару для брака по плюсовому допуску.

Испытание одного из таких автоматов для контроля размеров изделий, основанного на применении сеточного контакта, показало, что разность показаний при замыкании и размыкании контактов не превышала 0,0003 мм. Наблюдения производились как до, так и после 100 000 срабатываний контактов. После 100 000 срабатываний не было обнаружено никаких следов износа, равно как и изменения заданного интервала между верхним и нижним контактами.

Электронное реле с сеточным контактом может широко использоваться для автоматического контроля размеров также и на ходу станка, в процессе обработки деталей.

Электромагнитные реле включают своими контактами разноцветные сигнальные лампы, предупреждающие рабочего о достижении указанного допуска обработки деталей, или электрическую аппаратуру, автоматически управляющую станком.

Как только изделие будет обработано в пределах установленного допуска, станок автоматически останавливается и на его щитке загорается сигнальная электрическая лампочка или включается звонок, привлекающий внимание рабочего.

Научно-исследовательской лабораторией электроавтоматики (НИЭЛ) разработана тиратронная схема автоматизации контроля размеров, показанная на рис. 55.

Тиратрон питается от источника постоянного тока. На его сетку подаётся отрицательное запирающее напряжение порядка 80 в. При этом в анодной цепи тиратрона ток не протекает.

Если под измерительный наконечник попало изделие с браком, то замыкается контакт, вследствие чего отрицательное напряжение с сетки тиратрона снимается, тиратрон зажигается и отбраковывающий электромагнит ЭМ срабатывает.

Изделия непрерывно движутся и подходят одно за другим к измерительной ножке. Поэтому после контроля каждого изделия тиратрон необходимо погасить, приведя всю схему в состояние готовности к последующему измере-

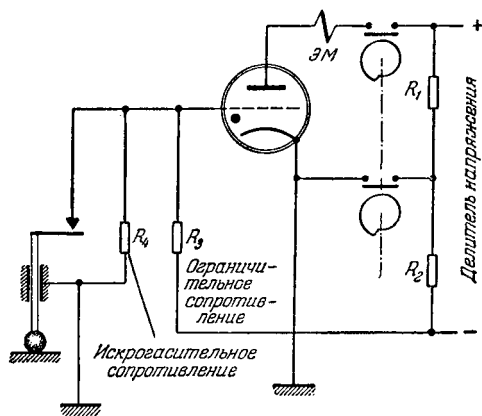


Рис. 55. Принципиальная схема автоматического контроля размеров изделий с тиратроном.

нию. Гашение тиратрона можно осуществить только разрывом анодной цепи тиратрона. Автомат контроля размеров изделий всегда имеет транспортирующий механизм, с которым можно связать кулачок, разрывающий в нужные моменты контакт в анодной цепи тиратрона. Как только с тиратрона будет снято анодное напряжение, он немедленно погасает. При этом восстанавливается управляющее действие сетки. На сетку вновь подаётся отрицательный запирающий потенциал, и вся схема приходит, таким образом, в состояние готовности к новому измерению.

На схеме рис. 55 виден ещё и второй кулачок. Этот кулачок включает контакт, заземляющий катод тиратрона в те моменты, когда происходит контроль размеров изделия.

Питание тиратрона производится через делитель напряжения, состоящий из двух активных сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$ . Сопротивление  $R_3$ , включённое в цепь сетки тиратрона (около 1,5 мгом), служит для ограничения сеточного тока. Сопротивление  $R_4$  уменьшает искрообразование между контактами.

Благодаря непосредственному включению электромагнита ЭМ в анодную цепь тиратрона, уменьшается время срабатывания всего устройства и поэтому контроль размеров можно осуществлять с большей скоростью.

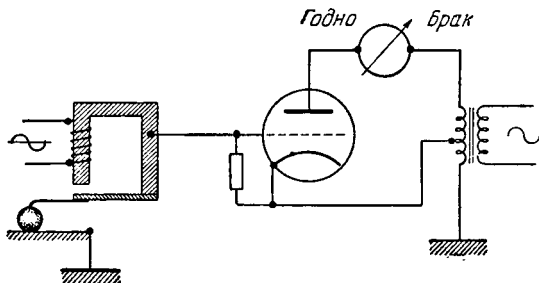


Рис. 56. Схема автоматического контроля размеров изделий с вибрирующим контактом.

Описанные выше устройства автоматического контроля имеют общий недостаток, заключающийся в релейном (скачкообразном) действии исполнительного органа (зажигание лампы, включение электромагнитного реле). Непрерывное преобразование механического перемещения в электрическую величину может быть осуществлено с помощью так называемого вибрирующего контакта.

Вибрационный измеритель (рис. 56) представляет собой электромагнит с массивным якорем, жёстко скреплённым с одной из частей магнитопровода. На конце якоря укреплен гибкий наконечник, электрически соединённый с сеткой электронной лампы. Под воздействием переменного тока якорь совершает быстрые колебания. Когда под вибрирующий наконечник подаётся контролируемое изделие, то отношение времени замкнутого состояния ко времени разомкнутого состояния контакта будет зависеть от положения этого изделия относительно наконечника, а следовательно, и от его размера. При каждом замыкании

контакта электронная лампа запирается, так как на сетку её подаётся отрицательный потенциал.

Изделия, имеющие размер больше нормального, требуют меньшего времени, в течение которого контакт будет разомкнут, и наоборот, если размер изделия меньше нормы, то время, в течение которого контакт остаётся разомкнутым, увеличивается. В результате гальванометр, включённый в анодную цепь электронной лампы, покажет большее или меньшее значение среднего тока.

Чем меньше размеры изделия, тем будет больше среднее значение анодного тока, и наоборот. Амплитуда колебаний наконечника устанавливается в пределах от нескольких сотых до нескольких десятых долей миллиметра. Её можно регулировать, меняя напряжение, подаваемое для питания катушки вибрационного электромагнита. Вибрационный измеритель стабильно работает при размахе колебаний наконечника якоря от 0,01 до 0,3 мм. Погрешность измерения при этом не превышает нескольких микронов.

На надёжность работы контактных органов сильно влияют явления химического и электрического разрушения контактов—коррозия и эрозия.

На контактирующих поверхностях появляется тончайшая плёнка плохо проводящего электрический ток окисла, нарушающая контакт. Однако если контакты не просто соприкасаются, но ещё и трутся друг о друга, то эта плёнка окисла периодически с них снимается. Для того чтобы избежать образования плёнки окислов, применяют контакты из благородных металлов (серебро, золото, платина, палладий, иридий) и их сплавов. Хотя контакты из платины и не подвергаются коррозии, однако они сильно подвержены эрозии. Невелика также и их износоустойчивость. Вольфрам и молибден обладают высокой твёрдостью, вследствие чего весьма износоустойчивы, они почти не подвергаются эрозии. Но эти металлы с течением времени окисляются, сильно увеличивая контактное сопротивление.

Хорошие результаты показали контакты из платино-иридиевых сплавов или карбидвольфрамовых соединений типа победита. Они сочетают в себе высокую механическую твёрдость и почти не подвержены эрозии.

Желание освободиться от контактов, механических передаточных устройств и, вместе с тем, получить непре-

рывный контроль привело к созданию ряда приборов с бесконтактными чувствительными элементами. Особенно простыми и удобными оказались приборы с индуктивными элементами, которые получили чрезвычайно широкое распространение.

### Бесконтактные методы контроля

Устройство с индуктивным датчиком показано на рис. 57.

В зависимости от размера контролируемого изделия стержень с измерительным наконечником перемещается

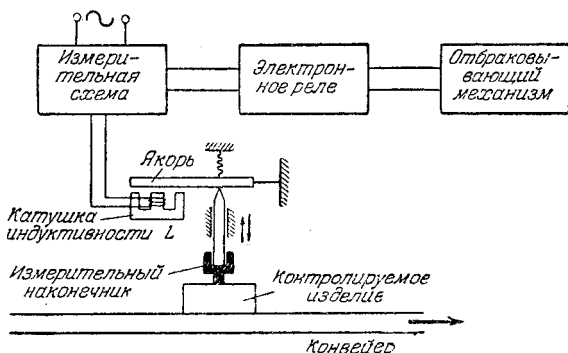


Рис. 57. Упрощённая схема автоматического прибора для контроля размеров изделий, основанная на принципе изменения индуктивности (чаще применяют две катушки).

на некоторое расстояние вверх, изменяя при этом величину воздушного зазора между якорем и основанием с катушкой  $L$ . При уменьшении воздушного зазора индуктивность увеличивается.

Таким образом, индуктивность катушки будет зависеть от размеров контролируемых изделий.

Для того чтобы этим прибором уловить изменения размера порядка  $0,5-0,2$  микрона, нужно весьма точно определить величину изменения индуктивности катушки. Для этого катушку включают в одно из плеч электроизмерительного моста переменного тока, представляющего собой, как известно, одно из наиболее распространённых устройств в технике электрических измерений.

Схема моста получается, если соединить элементы электрической цепи, состоящей, например, из омических (активных) сопротивлений, в четырёхугольник (рис. 58). К одной диагонали присоединяется источник питания (батарея), а к другой—измерительный прибор.

Эта схема обладает той особенностью, что при равенстве сопротивлений плеч или при соотношении  $R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$  мост оказывается уравновешенным и ток в диаго-

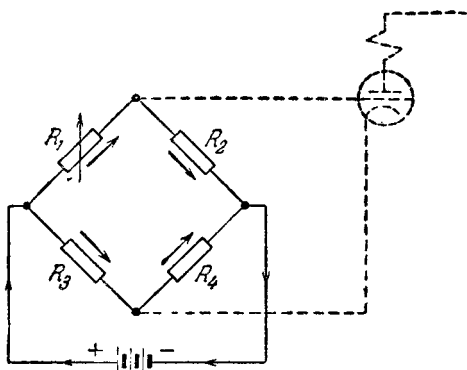


Рис. 58. Схема измерительного мостика. При изменении сопротивления ( $R_1$ ) одного из плеч моста электронное реле срабатывает. Стрелками указано направление тока.

нали моста, в которую включён гальванометр или электронный усилитель, будет равен нулю.

Если в одном из плеч моста изменить величину сопротивления, то равновесие нарушится и измерительный прибор, включённый в диагонали моста, покажет присутствие тока.

В плечи моста можно включить также катушки самоиндукции или электрические конденсаторы при условии питания переменным током. Незначительное изменение величины индуктивности (или ёмкости) под влиянием внешних условий (изменение перемещения, скорости, ускорения, давления, температуры и т. д.) приводит к срабатыванию электронного реле.

В данном случае нас интересует мост с катушками индуктивности. Одна из возможных схем моста, составленная из индуктивных элементов и используемая для



автоматического контроля размеров изделий, приведена на рис. 59.

При равенстве индуктивностей  $L_1$  и  $L_2$  в плечах моста напряжение на обмотках трансформатора  $T$  равно нулю, а электронная лампа заперта отрицательным потенциалом, подаваемым на сетку от батареи смещения. При изме-

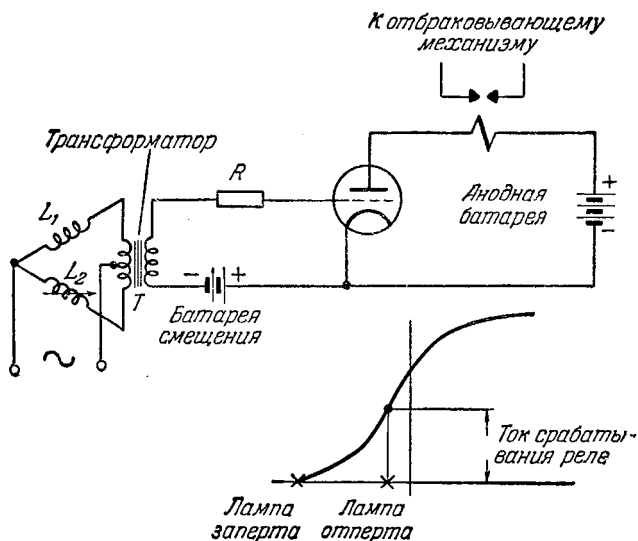


Рис. 59. Автоматический контроль размеров изделий методом индуктивности.

нении размера изделий индуктивность одного из плеч, например  $L_2$ , изменяется. Вследствие этого нарушается равновесие моста и во вторичной обмотке трансформатора возникает напряжение. Это напряжение подаётся на сетку лампы, последняя отпирается и вызывает срабатывание реле, которое включает отбраковывающий исполнительный механизм.

В настоящее время чаще применяют устройства с двумя катушками индуктивности, между которыми перемещается якорь.

Автоматические устройства для контроля размеров деталей, основанные на использовании явлений индуктивности, показали отличную работу на шлифовальных станках и в машине для сортировки роликов. Машина

сортирует ролики по диаметру на пять групп со скоростью до 50 роликов в одну минуту.

Многие другие контрольные автоматы также основаны на методе индуктивности.

Если к измерительной ножке прикрепить металлическую пластину, то в зависимости от размера контролируемых изделий пластина будет менять своё положение в пространстве. Изменение положения этой пластины относительно другой, неподвижной пластины, вызовет изменение электрической ёмкости между ними.

Измеряя каким-либо способом величину приращения ёмкости, можно судить о размере контролируемого изделия. Один из наиболее точных и чувствительных ёмкостных микрометров основан на принципе интерференции (сложения) электрических колебаний.

Пусть два электронных генератора  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$  (рис. 60) создают колебания частотой в 1 000 000 гц. Частота генератора  $\Gamma_1$  зависит от параметров его колебательного контура  $L_1$  и  $C_1$ . В колебательный контур генератора  $\Gamma_2$  включена измеряемая ёмкость  $C_x$ . Если частоты обоих генераторов одинаковы, то частота биений равна нулю.

При изменении частоты генератора  $\Gamma_2$  возникают биения с частотой, равной разности частот электронных генераторов.

Очевидно, что частота биений является функцией изменения ёмкости  $C_x$ , и, следовательно, размера контролируемой детали.

Для измерения малых изменений ёмкости с большим успехом используются также дифференциальные схемы. Одна из таких схем изображена на рис. 61. Электронный генератор через трансформатор подаёт напряжение на пластины сдвоенного (дифференциального) конденсатора.

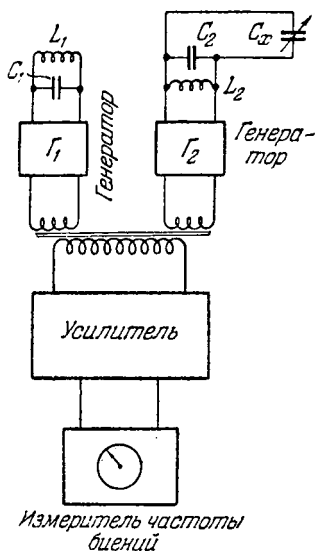


Рис. 60. Схема установки для автоматического контроля размеров деталей по методу биений.

Две крайние пластины дифференциального конденсатора неподвижны, а средняя пластина подвижна и связана с измерительной ножкой.

При передвижении средней пластины ёмкость между ней и крайними пластинами изменяется. При этом нару-

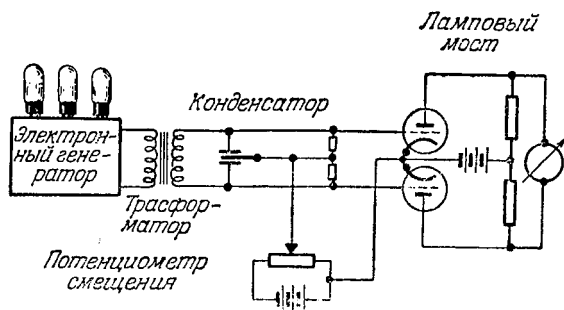


Рис. 61. Автоматический контроль размеров изделий по резонансному методу.

шается баланс лампового моста и прибор даёт отклонение. Такой прибор позволяет достаточно уверенно оценивать перемещения в 0,1 микрона.

### Фотоэлектронные методы автоматического контроля

Для контроля размеров изделий часто пользуются фотоэлектрическими приборами. Таким методом контролируются тонкие нити и проволоки, лезвия и иглы, а также другие тонкие, хрупкие или мягкие изделия.

Контролируемая тонкая проволока непрерывно протягивается перед фотоэлементом и загорает собой свет от лампы. Чем толще проволока, тем меньший поток света попадёт на фотоэлемент и тем меньшим будет фототок. По показаниям гальванометра, присоединённого к усилителю фототоков, диаметр проволоки определяют с очень большой точностью.

При отклонении диаметра проволоки от допустимых размеров фотореле может включать сигнализацию и автоматически останавливать или регулировать машину.

При помощи фотоэлектронных приборов контролируют заточку лезвий бритв, хирургических и других инструментов. Электрические и электронные приборы приме-

няются для контроля не только размеров, но и многих других величин.

Ниже приводятся примеры применения фотоэлектронных приборов для контроля прозрачности, температуры и некоторых других величин.

В СССР был сконструирован автомат для контроля ампул с лекарственными веществами. Лучи света от электрической лампы собираются линзами в тонкий пучок,

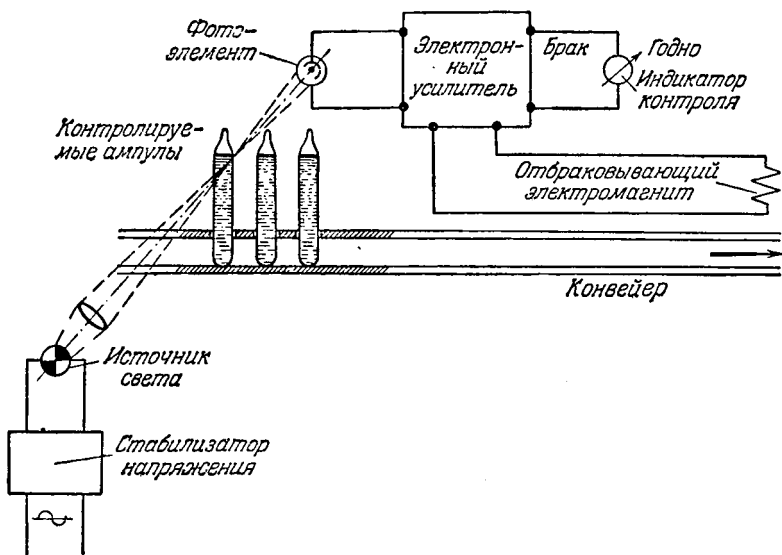


Рис. 62. Схема автоматического контроля мутности (прозрачности).

который, пронизывая заполненную лекарством ампулу, попадает на фотоэлемент (рис. 62).

В зависимости от прозрачности раствора лучи света проходят через него в большей или меньшей степени.

Мутная жидкость поглощает и рассеивает часть светового потока. Прозрачная ампула пропустит свет почти без ослабления. Фотоэлемент реагирует на все изменения светового луча и при малейших отклонениях от нормы включает электромагнит, сбрасывающий бракованные ампулы с конвейера.

С применением такого автомата в три раза ускоряется выпуск ампул, десятки контролёров освобождаются от

напряжённой работы и совершенно исключаются ошибки. Подобные приборы используются также при контроле качества воды, пищевых продуктов и химических соединений.

Таким образом, контролируется, например, жёсткость воды, питающей паровые котлы. В воду добавляют растворы, окрашивающие жёсткую воду или вызывающие её помутнение. Стеклянную трубку, по которой идёт вода, помещают перед фотоэлементом, на пути луча света. В зависимости от интенсивности окраски воды или от степени её помутнения на фотоэлемент попадёт соответственно ослабленный световой поток. Фотореле срабатывает и включает предупредительную сигнализацию в том случае, если жёсткость воды, поступающей в котёл, превышает допустимые пределы.

Фотореле, реагирующее на изменение интенсивности световых лучей, может быть использовано для автоматического анализа химического состава сплавов.

Фотоэлектронный прибор в течение нескольких секунд даёт ответ на вопрос, из каких веществ состоит данный образец сплава или сколько в нём содержится различных химических элементов.

Для этого с образца срезают тонкую ленточку, которую потом сжигают в электрическом разряде при напряжении в несколько тысяч вольт. Металл превращается в раскалённые, ярко светящиеся пары. Полученные таким образом лучи света пропускают через стеклянную призму и разлагают в спектр. Участки спектра с характерными спектральными линиями пропускают сквозь узкие щели, за которыми установлены фотоэлементы или фотоумножители.

В зависимости от яркости спектральных линий ток в фотоэлементах увеличивается или уменьшается. Чувствительные гальванометры, соединённые с фотоэлементами, указывают содержание примесей. Таким способом определяется содержание кобальта, хрома, марганца, ванадия, молибдена и других элементов в стали.

При помощи фотоэлементов можно производить контроль цвета красок, пищевых продуктов и различных изделий.

Очень интересны автоматы, реагирующие на количество световой энергии, воздействующей на фотоэлемент.

Ещё в 1937 году харьковским заводом «ФЭД» был выпущен фотоэлектрический экспозиметр ФЭД, позволяю-

щий определять требуемую выдержку времени экспозиции по показаниям электроизмерительного прибора. Небольшой селеновый фотозлемент в виде круглого диска укреплен в передней стенке прибора. От механических повреждений фотозлемент защищен стеклянной пластинкой.

Фотозлемент соединен с микроамперметром, стрелка которого показывает освещенность объекта фотосъемки.

Если в цепь фотозлемента с внешним фотозффектом (рис. 63) включить конденсатор, то последний будет постепенно заряжаться со скоростью, пропорциональной напряжению батареи, величине добавочного сопротивления

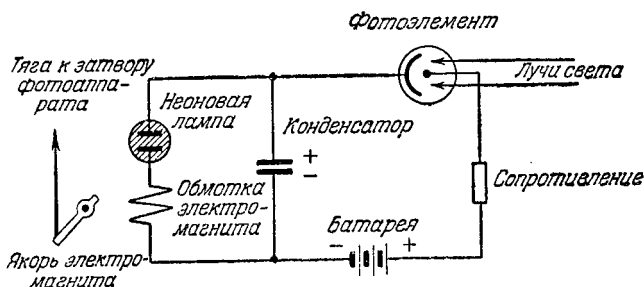


Рис. 63. Принципиальная схема фотоэлектронного экспозиметра.

и освещенности. Этот процесс аналогичен экспозиции, так как фотоматериал также аккумулирует световую энергию. Поэтому заданная экспозиция может быть представлена зарядом конденсатора. Разрядником является неоновая лампа, которая зажигается при определенном напряжении. Разряд конденсатора вызывает срабатывание электромагнита, управляющего автоматическим затвором фотоаппарата.

Фотографировать с помощью такого автомата очень просто. Рядом с объективом фотоаппарата устанавливается фотозэлемент, направленный на предмет съемки. Свет, отраженный от этого предмета, вызывает фототок, которым заряжается конденсатор. Когда конденсатор зарядится, что соответствует отмериванию количества освещения, затвор фотоаппарата автоматически закрывается. Разумеется, что для фотографических материалов разной чувствительности необходимо изменять сопротивление в цепи фотозлемента или ёмкость конденсатора.

Подобные аппараты очень полезны также и для киносъёмки. Они изменяют величину отверстия диафрагмы перед объективом, и киноплёнка всегда получает нужную экспозицию.

Способность фотореле регистрировать количество пересечений луча света привела к созданию автомата для точного подсчёта движущихся предметов—фотоэлектронного счётчика.

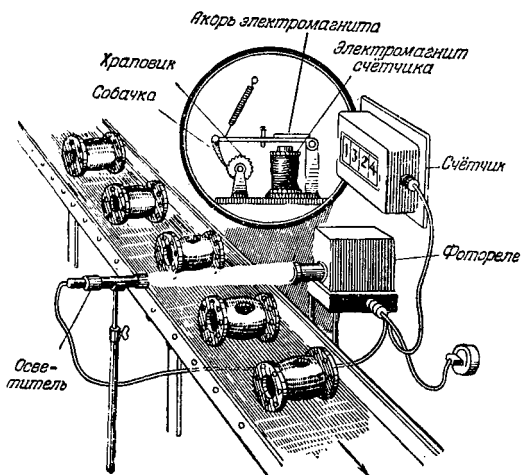


Рис. 64. Автоматический подсчёт числа деталей.

Фотоэлектронный счётчик можно использовать для автоматического подсчёта изделий, проходящих по конвейеру (рис. 64).

Чтобы использовать фотореле для подсчёта изделий, к контактам его надо подключить электромагнитный счётчик. Осветитель следует установить по одну сторону конвейерной ленты, а фотореле—по другую. Тогда каждая деталь при своём движении будет пересекать луч света от осветителя и вызывать срабатывание фотореле. При каждом срабатывании фотореле электромагнитный счётчик будет получать импульс тока и передвигать его считающий барабан на одно деление.

В механизме счётчика имеется электромагнит; сердечник электромагнита намагничивается импульсом тока и притягивает небольшой железный якорь, который при

движении перемещает сцепленную с ним собачку. Собачка нажимает на зубец храповика и поворачивает его. Концентрично с храповым колесом располагается счётный механизм, состоящий из нескольких дисков, по окружности которых равномерно нанесены цифры от 0 до 9. Первый диск показывает единицы, второй—десятки, третий—сотни и т. д.

Может возникнуть вопрос: зачем для счёта штучных изделий устанавливать фотореле? Не проще ли обойтись каким-нибудь механическим контактом, который изделие замыкает при своём движении по конвейеру?

Для тяжёлых изделий это, может быть, и имеет смысл, но для таких лёгких, как, скажем, спичечные коробки или пирожные, механический контакт неудобен. Слабое нажатие контакта, которое только и может быть при таких ломких изделиях, не годится. В этих случаях фотореле незаменимо. Фотоэлектрические счётчики особенно ценны также и в тех случаях, когда изделия по конвейеру движутся быстро или когда их нежелательношний раз трогать руками.

Фотоэлектрический счётчик может считать не только изделия на конвейере, но и людей, входящих в какое-нибудь помещение. Его можно использовать для подсчёта числа посетителей музеев, выставок и магазинов или пассажиров метрополитена.

Такой счётчик был установлен, например, на выставке в Политехническом музее в Москве. На одном косяке двери был укреплён осветитель, на другом—фотореле и электромагнитный счётный механизм. Счётчик автоматически и совершенно точно подсчитывал число людей, проходящих через дверь, перегороденную лучом света.

В некоторых помещениях устанавливаются автоматические извещатели о возникшем пожаре. Автоматические извещатели делятся на термометрические и фотоэлектрические.

Один из температурных извещателей построен на использовании расширения воздуха при нагревании (рис. 65). Прибор состоит из двух наполненных воздухом камер, разобщённых тонкой металлической гофрированной мембраной. В верхней камере смонтированы электрические контакты. Нижняя камера закрывается мембраной, а верхняя имеет сообщение с окружающей средой. В центре мембраны находится клапан из пористого материала, через



который может просачиваться воздух. Благодаря пористому клапану поддерживается равенство давлений в обеих камерах.

Если температура окружающей среды повышается медленно, то давление в обеих камерах успевает выравняться и извещатель на это не реагирует. При пожаре происходит резкое повышение температуры и давление в нижней камере быстро увеличивается. Не находя быстрого выхода через клапан, воздух выгибает мембрану вверх, размыкая при этом контакты. В результате размыкания контактов подаётся сигнал тревоги.

Термический извещатель другого типа (рис. 66) основан на линейном расширении металлов при нагревании. Он состоит из металлического корпуса корытообразной

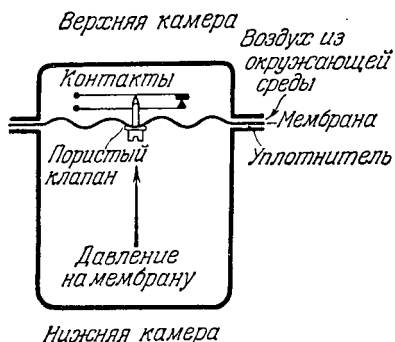


Рис. 65. Схема дифференциального автоматического извещателя.

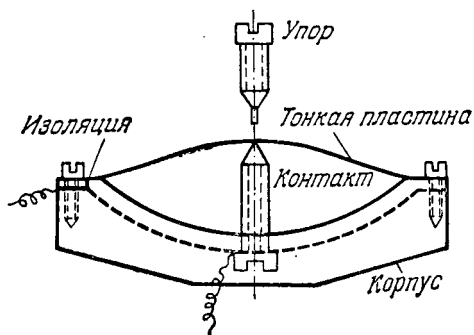


Рис. 66. Дифференциальный автоматический извещатель.

формы и плоской пластинки из того же металла, прикреплённой краями к корпусу.

При медленном повышении температуры пластинка расширяется одинаково с корпусом. При быстром же повышении температуры (при пожаре) тонкая пластинка нагревается быстрее, прогиб её быстро увеличивается,

и контакты замыкаются. При этом в линию посылается сигнал тревоги.

Автомат сигнализирует также и в том случае, когда он сам повреждён (загрязнение контактов и т. д.).

Более совершенными являются фотоэлектронные пожарные сигнализаторы. Незначительная вспышка света или появление искр приводит фотоэлемент в действие. В какую-нибудь долю секунды включается тревожная сигнализация, автоматически запускаются насосы, открываются краны и участок, охраняемый фотоэлементом, заливается потоками воды.

Фотоэлектронный автомат может приводить в действие аппараты для тушения пожара пеной, заполнять помещение не поддерживающим горения углекислым газом и т. д. Фотоэлектронный автоматический пожарный может включать сигнализацию и противопожарные устройства в момент появления в помещении не только огня, но и дыма.

Автоматической пожарной сигнализацией, реагирующей на появление дыма, оборудуются грузовые и угольные трюмы, багажные камеры морских и океанских кораблей, книгохранилища, зерновые элеваторы и т. д.

В горной промышленности широкое применение находит автоматический сигнализатор наличия взрывоопасного газа—метана. Уже при 2% метана в рудничном воздухе должна быть прекращена работа всех электрических механизмов, так как от искрообразования в них может произойти взрыв.

Автоматическая сигнализация предотвращает взрывы в шахтах, оповещая обслуживающий персонал об опасности. Одновременно с этим автоматически прекращается подача электроэнергии ко всем механизмам.

Сотрудниками Всесоюзного угольного института было разработано специальное взрывобезопасное метан-реле, реагирующее на наличие метана в воздухе. Этот прибор (рис. 67) состоит из трёх наглухо отделённых друг от друга камер. В нижней камере помещается электрический аккумулятор. В следующей камере, называемой диффузной, помещён кольцеобразный пористый сосуд. Внутри пористого сосуда находится тонкая платиновая нить, накаливаемая током от аккумулятора.

Метан, находящийся в воздухе, диффундирует внутрь пористого сосуда и сгорает в нём. В результате сгорания метана воздух в сосуде несколько разрежается. Степень

разрежения пропорциональна концентрации метана в воздухе. На уменьшение давления в сосуде реагирует мембрана, соединённая с полостью пористого сосуда посредством небольшой трубки. Мембрана прогибается и через систему рычажков замыкает контакты цепи сигнализации и автоматического выключения электрооборудования. Эти контакты находятся в верхней камере прибора.

Метан-реле является важнейшим автоматическим прибором шахтной диспетчерской сигнализации, обеспечивающим безопасность ведения горных работ в газоперильных шахтах.

Для правильной организации производственных процессов чрезвычайно важны приборы автоматической сигнализации нерабочего состояния машин и механизмов, холостого хода электродвигателей, работы с неполной нагрузкой и приборы для автоматического отключения оборудования при аварийных режимах.

Один из приборов для автоматической сигнализации работы и простоя электрифицированных машин основан на применении биметаллической пластинки и электромагнитных реле (рис. 68).

Биметаллическое реле, имеющее П-образную форму, включается либо непосредственно в цепь питания электродвигателя, либо, если ток очень велик, через трансформатор.

Если контролируемая машина находится в нерабочем состоянии, т. е. приводной электродвигатель выключен, то ток через пластинку не протекает и она незначительно нагревается лишь от воздействия окружающей среды. Контакты биметаллического реле при этом разомкнуты,

*В цель аварийной сигнализации и автоматического отключения электрооборудования*

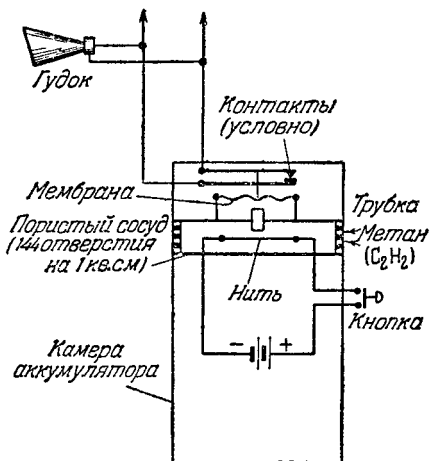


Рис. 67. Принципиальная схема метан-реле.

а электромагнитные реле обесточены. Через нормально замкнутые (нижние) контакты электромагнитных реле в это время оказывается включённой красная сигнальная лампа. Если электродвигатель пускается в ход, то в цепи биметаллического реле появляется ток холостого хода электродвигателя. Биметаллическая пластинка при этом нагревается и, изгибаясь, замыкает один из контактов. Тогда срабатывает одно из электромагнитных реле, кото-

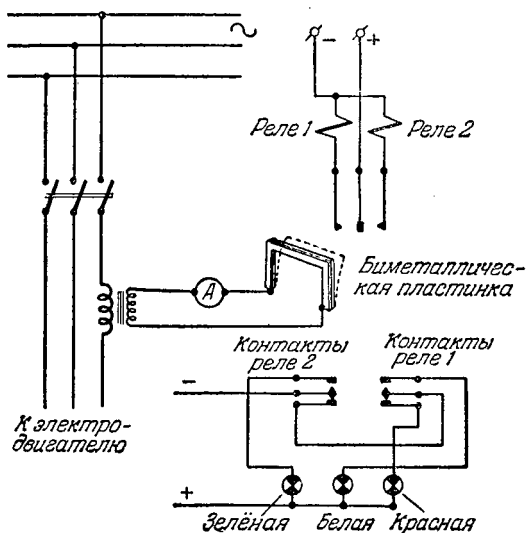


Рис. 68. Принципиальная схема автоматической сигнализации работы механизмов.

рое включает белую сигнальную лампочку и выключает красную. Диспетчер видит, что двигатель машины работает вхолостую.

Когда машина будет работать с полной нагрузкой, то по цепи электродвигателя, а следовательно, и по биметаллической пластинке будет проходить большой ток. Пластинка нагреется ещё больше и замкнёт контакт в цепи второго электромагнитного реле. Реле сработает и своими контактами включит лампу зелёного цвета. Белая же лампа, как это видно из схемы, погаснет.

Для целей автоматической сигнализации находят широкое применение фотоэлектронные приборы.

При использовании принципа так называемой «световой преграды» движущийся непрозрачный предмет пересекает луч света, направленный от осветителя к фотореле. Фотореле при этом срабатывает, автоматически включая (или выключая) своими контактами соответствующие исполнительные цепи.

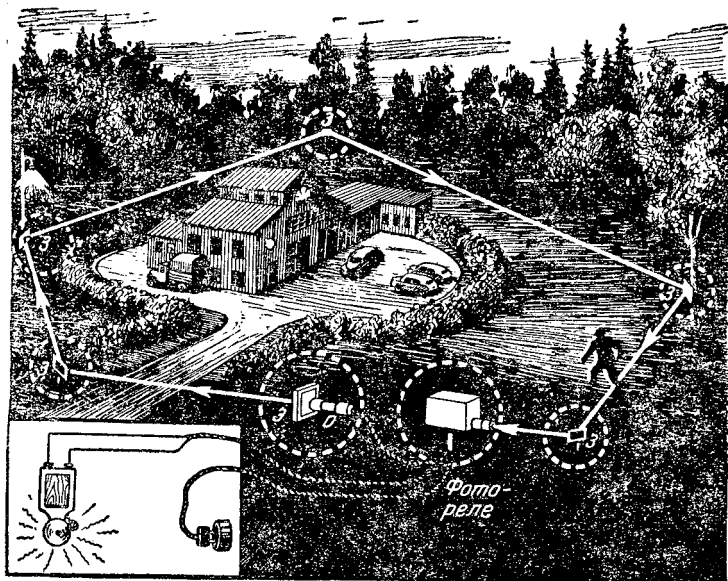


Рис. 69. Охрана при помощи инфракрасных лучей и фотоэлектрического реле.

Фотореле, работающее на принципе «световой преграды», может охранять помещения. Для этого вокруг объекта, который нужно охранять, устраивают невидимый «барьер» из инфракрасных лучей (рис. 69). Прожектор или другой достаточно мощный источник света закрывают фильтром, не пропускающим видимых лучей света.

Невидимые лучи поворачиваются при помощи зеркал и охватывают весь охраняемый участок. Когда на фотореле попадает луч, то на сетку усилительной лампы подается положительный потенциал. Анодный ток лампы проходит по обмотке электромагнитного реле, которое держит якорь электромагнита притянутым.

Исполнительные цепи электровозвонка и сигнальной лампы, установленных в помещении дежурного, при этом разомкнуты. Но как только кто-нибудь пересечёт луч света, падающий на фотоэлемент, лампа запирается, якорь реле отпадает и замыкает контакты, включающие тревожную сигнализацию. При этом тревожная сигнализация начинает работать не только тогда, когда пучок лучей будет пересечён, но и в случае неисправности фотореле или осветителя.

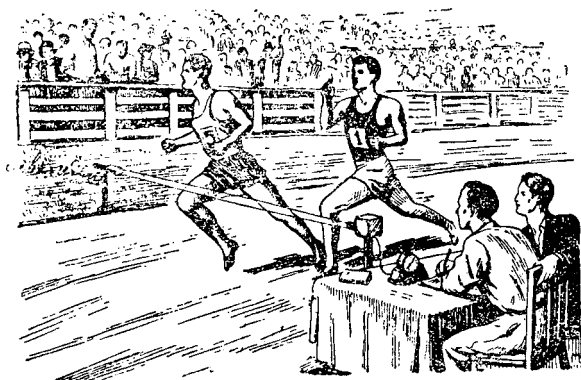


Рис. 70. Фотоэлектрическое реле на стадионе (высота осветителя и фотоэлемента может регулироваться).

Можно автоматически с очень большой точностью фиксировать момент прохождения какого-либо непрозрачного объекта около фотореле.

Одним из примеров применения такого автомата является фотоэлектрический «спортивный судья». Традиционные ленты, которые разрывает бегун, участвующий в спортивных состязаниях, заменяются лучом света (рис. 70).

С одной стороны беговой дорожки устанавливается осветитель, а с другой—фотореле. При пересечении луча света срабатывает фотореле и включает небольшой электромагнит, нажимающий кнопку секундомера. Человек, оперирующий секундомером, обеспечивает точность лишь до десятых долей секунды. Фотоэлектрический же «судья» отмечает время старта и финиша с точностью до сотых долей секунды. Фотоэлектронные приборы можно использовать также при соревнованиях автомобилистов и мотоциклистов, на скачках и бегах лошадей.

Фотоэлектронные приборы могут не только автоматически засекают время старта и финиша, но и определять скорость бегуна или мотоциклиста. Для этого на некотором расстоянии друг от друга устанавливаются два фотореле и два осветителя. Сначала бегун или мотоциклист пересекает один луч света, затем второй. Так как фотореле установлены на определённом расстоянии, например в 100 м, то по разнице во времени пересечения обоих лучей можно судить о скорости передвижения.

### Автоматический дефектоскоп

Известно, что если намагнитить какую-нибудь деталь из ферромагнитного материала, то в месте повреждения магнитные силовые линии образуют искажённое магнит-

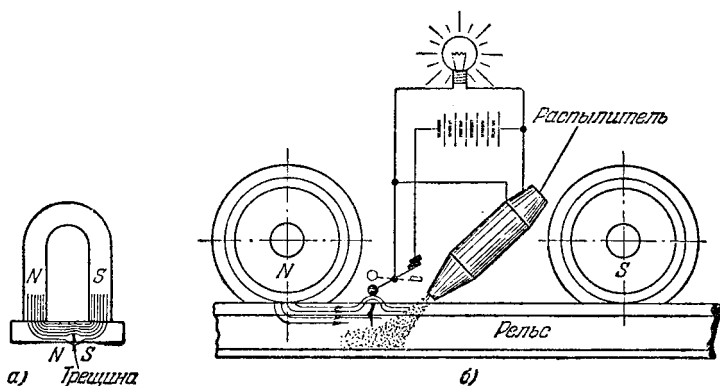


Рис. 71. Автоматический железнодорожный дефектоскоп:  
 а) образование искажённого магнитного поля около трещины в рельсе  
 б) упрощённая схема дефектоскопа.

ное поле (рис. 71, а). На этом простом физическом принципе основан автоматический железнодорожный дефектоскоп (рис. 71, б).

Оси специального испытательного вагона представляют собой электромагниты большой силы. Магнитные силовые линии проходят по рельсам между передними и задними колёсами вагона, образуя замкнутый магнитный контур. Отрезки рельс, заключённые между колёсами на осях, намагничиваются при этом до насыщения, при напряжённости магнитного поля в 15—20 тысяч гаусс. Если в рель-

се окажется дефект, то магнитное поле, образующееся на поверхности рельса, притягивает лёгкую стрелку, которая замыкает контакт цепи электрического сигнала. Получается своего рода электромагнитное реле, в котором роль якоря играет стрелка, а роль сердечника—рельс.

Каждый дефект рельса—незначительная трещина или неразличимая в микроскоп раковина в металле—автоматически отмечается вспышкой электрической лампочки, записью на ленте и опрыскиванием ненадёжной части рельса краской.

Вагон передвигается со скоростью свыше десяти километров в час. Следом за ним на дрезине едет бригада ремонтных рабочих, которая по окрашенным местам находит и устраняет дефекты: меняет рельсы, заваривает трещины и устраняет другие изъяны.

Автоматические дефектоскопы, основанные на электромагнитном принципе, проверяют детали автомобилей и самолётов, контролируют вагонные оси, сварные швы паровых котлов и др.

В СССР разработан электронный автоматический прибор, позволяющий быстро и безошибочно обнаруживать вредные металлические включения в толще материала. Это важно, например, при производстве каучука. Прибор основан на свойствах резонансного колебательного контура, состоящего из комбинации ёмкостей и сопротивлений или самоиндукций. При попадании металлических частиц в материал электронный автомат включает реле, которое приводит в действие световую и звуковую сигнализацию, привлекающую внимание обслуживающего персонала.

Этот автомат (рис. 72) состоит в основном из большой катушки самоиндукции, через которую проходит подвергающийся контролю материал, и электронного генератора. Катушка, состоящая из 25 витков провода, соединена с электронным генератором специальным высокочастотным кабелем.

Электронный генератор в нормальных условиях, т. е. когда внутри катушки проходит материал без металлических включений, создаёт электромагнитные колебания с частотой 450 кГц.

Колебания электронного генератора подводятся к другому колебательному контуру, который настроен в резонанс с генератором, т. е. также на частоту 450 кГц.



Колебания в резонансном контуре воспринимаются обычным электронным реле. Электромагнит электронного реле рассчитан так, что он отпускает свой якорь, как только ток в анодной цепи лампы упадёт с 20—25 до 2 *ма*. К контактам реле подключены сигнальный электрический звонок (или сирена) и контрольная лампочка.

Если внутрь катушки вместе с контролируемым материалом попадает какой-нибудь металлический предмет, то индуктивность катушки колебательного контура элек-

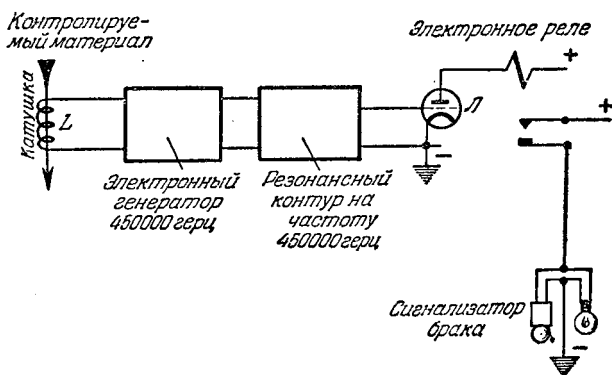


Рис. 72. Электронный автоматический прибор для обнаружения металлических включений в материале.

тронного генератора и частота его колебаний резко изменяются. Изменение частоты электронного генератора скажется на приключённом к нему колебательном контуре, который настроен точно на стабильную частоту в 450 *кГц*.

Когда частота колебаний электронного генератора изменится, то вторичный колебательный контур уже не будет находиться с ним в резонансе. Анодный ток уменьшится, реле, включённое в анодную цепь лампы, отпустит свой якорь и включит тревожную сигнализацию.

Подобные автоматы применяются и в других производствах. Например, они с успехом контролируют целость стальных канатов для шахтных подъёмных машин.

Стальной канат, состоящий из многих свитых между собой проволок, пропускается через катушку электронного генератора. При этом генератор создаёт колебания определённой частоты, зависящей от величины ёмкости конденсатора и самоиндукции катушки.

На обрыв нескольких проволок автомат реагирует резким изменением частоты колебаний, и электронное реле подаёт тревожный сигнал. Это происходит потому, что оборванные проволоки в какой-то степени влияют на величину самоиндукции катушки, а следовательно, и на частоту колебаний электронного генератора.

## Глава VI

### АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА

В автоматической защите нуждаются станки, химические установки, паровые котлы, турбины, двигатели и генераторы, высоковольтные линии передачи, агрегаты паровозов, кораблей и самолётов.

Громадное значение имеет автоматическая защита электродвигателей, приводящих в движение металлообрабатывающие станки, подъёмные краны, штамповочные прессы, насосы, компрессоры и многие другие машины.

Если во время работы внезапно возникнет перегрузка, то электрический ток резко повысится и может сжечь обмотку двигателя, а иногда и электрическую сеть. В простейшем случае защита обеспечивается плавкими предохранителями, которые устанавливаются на щитках вместе с рубильниками.

Работа плавких предохранителей основана на законе Ленца—Джоуля, по которому нагревание проводника пропорционально квадрату силы тока.

При увеличении тока в 2,5 раза против нормального плавкий предохранитель перегорает и тем самым быстро отключает электродвигатель от сети.

Вместе с тем плавкий предохранитель совершенно не защищает двигателя при сравнительно небольших, но длительных перегрузках, хотя последние представляют не меньшую опасность для целостности изоляции обмотки электродвигателя, чем короткое замыкание.

Положение осложняется ещё и тем, что пусковой ток в момент включения некоторых двигателей превышает рабочий ток в 5—8 раз. Следовательно, предохранители следует брать с расчётом не на 2,5-кратную перегрузку, а по меньшей мере на 5—8-кратную.

Поставленная задача хорошо решается применением электромагнитных реле. Последовательно с пусковыми

предохранителями, рассчитанными на 8-кратную перегрузку, включают дополнительно предохранители, способные выдерживать 1,5—1,8-кратный ток.

Во время пуска эти дополнительные предохранители нужно шунтировать, т. е. заставить идти пусковой ток помимо них. Обмотка электромагнитного реле включается в средний провод двигателя (рис. 73). При пуске двигателя возникает большой бросок тока, гораздо больший того, на который рассчитаны рабочие предохранители. Этот ток возбуждает реле, которое замыкает контакты, шунтирующие предохранители. Предохранители в этом случае не успеют расплавиться и разорвать цепь, так как их время плавления в десятки раз больше (1—2 сек.), чем скорость срабатывания реле, исчисляемая обычно в долях секунды.

Пусковой ток двигателя направится в обход предохранителей через контакты реле. По окончании пускового периода ток в двигателе снижается до его нормального значения. Когда ток в цепи двигателя понизится до 1,7—1,8 своего номинального значения, реле не будет в состоянии удерживать якорь и отпустит его. Контакты, связанные с якорем реле, разрываются, и с этого момента весь ток двигателя начинает проходить через рабочие предохранители.

В случае длительной перегрузки двигателя рабочие предохранители защитят его от повреждений. В то же время ток, при котором плавятся рабочие предохранители, будет недостаточен для срабатывания реле и контакты его останутся разомкнутыми.

Однако такая схема защиты электродвигателей не отличается большой гибкостью. Каждый раз при перегрузках плавкие вставки рабочих предохранителей перегорают и их приходится заменять новыми.

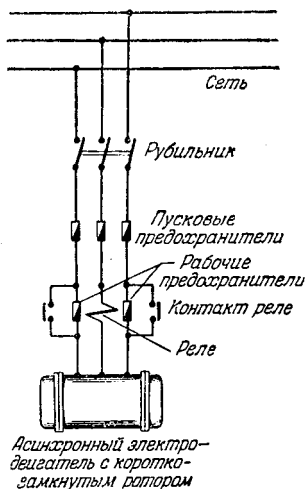


Рис. 73. Защита электродвигателя автоматически включающимися предохранителями.

В данном случае удобно применять биметаллические пластинки. К биметаллической пластинке приделывают контакты, которые разрывают цепь питания электродвигателя при недопустимом увеличении силы тока. Биметаллическая пластинка изгибается и разрывает контакты цепи, если она нагреется током до соответствующей температуры.

Схема автоматической защиты двигателя от перегрузок примет вид, показанный на рис. 74. При пуске двигателя

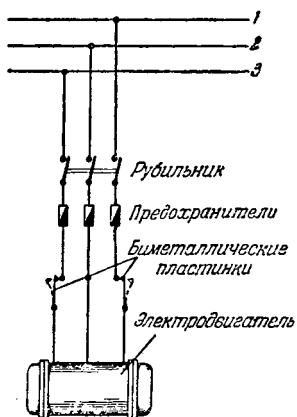


Рис. 74. Упрощенная схема автоматической защиты двигателя от перегрузки. Пунктиром показано положение биметаллических пластин при перегрузке.

в ход биметаллические пластинки не успевают нагреться настолько, чтобы изогнуться и разорвать контакт. При длительных же перегрузках биметаллические пластинки, постепенно нагреваясь, разрывают цепь питания, а затем вновь автоматически замыкают цепь при остывании.

При частых включениях и выключениях двигателя, например при работе на металлообрабатывающих станках, манипуляции с рубильником отнимают много времени. Гораздо удобнее пуск в ход и остановку двигателя осуществлять нажатием электрических кнопок.

Устройство, включающее электродвигатель в сеть и автоматически отключающее его при

перегрузках во время работы, основанное на применении электромагнитных и биметаллических реле, называется магнитным пускателем.

Всё управление электродвигателем ведётся посредством нажатия кнопок. Кнопки могут быть расположены на самом станке, под ногами рабочего—при ножном управлении, а также на некотором расстоянии от управляемого станка. Более того, контактные органы магнитного пускателя могут автоматически замыкаться самим станком по окончании обработки детали.

На рис. 75 показана принципиальная электрическая схема реверсивного магнитного пускателя с кнопчным

управлением для автоматических весов на металлургическом заводе.

Схема действует следующим образом. Перед началом работы включается трёхполюсный рубильник. Но электродвигатель при этом ещё не включается, потому что си-

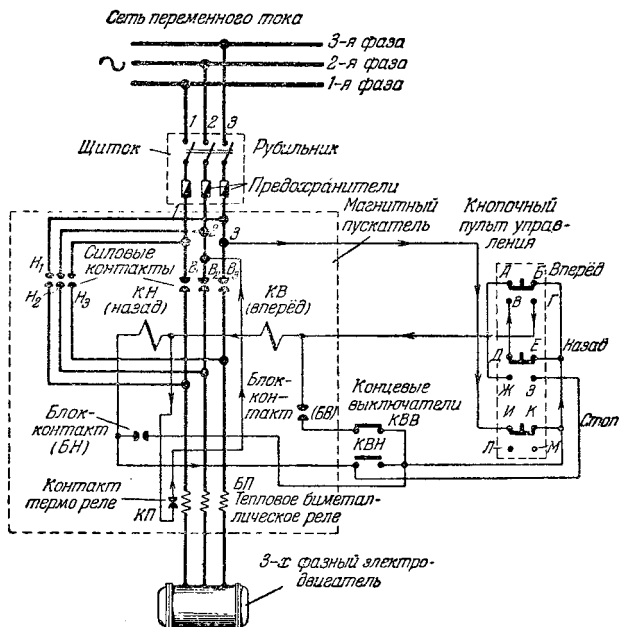


Рис. 75. Принципиальная электрическая схема реверсивного магнитного пускателя для кнопочного управления электродвигателем (стрелками показано направление тока в момент нажима на кнопку «вперёд»).

ловые контакты магнитного пускателя разомкнуты. При нажатии кнопки «вперёд» замыкаются контакты В и Г, в результате чего образуется следующая электрическая цепь: ток от провода 3 (см. стрелки на рисунке) направляется к контакту И и через замкнутую металлическую пластинку кнопки «стоп» попадает на контакт К; от него ток поступает к контакту Е кнопки «назад» и через металлическую пластинку идёт к контакту Д; отсюда ток поступает на контакт В кнопки «вперёд». Так как мы нажали кнопку «вперёд», то от контакта В ток идёт к контакту Г

и далее в обмотку катушки электромагнита *KB*. Пройдя через катушку и замкнутые контакты *KП* термического (теплового) реле, ток идёт ко второму силовому проводу 2. Таким образом, получается замкнутая цепь тока. При этом электромагнит *KB* срабатывает и замыкает три силовых контакта  $V_1$ ,  $V_2$  и  $V_3$  питания электродвигателя.

Левая группа контактов  $H_1$ ,  $H_2$  и  $H_3$  служит для пуска электродвигателя в обратном направлении, при нажатии кнопки «назад». Для того чтобы электромагнит *KB* остался во включённом состоянии после отпускания кнопки, замыкается ещё один дополнительный контакт *BB*, называемый б л о к и р о в о ч н ы м. Он блокирует электромагнит *KB*, питая его от сети помимо кнопки «вперёд». Образуется дополнительная электрическая цепь блокировки. Ток идёт от третьего провода силовой сети через контакты *И* и *К* кнопки «стоп», перекрытые металлической пластинкой, и далее по нормально закрытым контактам концевого выключателя *KBВ*. Оттуда через блокировочные контакты *BB*, катушку электромагнита *KB* и контакты *KП* теплового реле ток возвращается ко второму (2) проводу силовой сети.

После взвешивания болванки механизм автоматических весов разрывает контакты концевого выключателя *KBВ*. При этом цепь блокировки реле *KB* нарушается. В катушку электромагнита *KB* перестаёт поступать ток. Электромагнит отпускает якорь, контакты  $V_1$ ,  $V_2$  и  $V_3$  разрываются, и двигатель останавливается. При нажатии кнопки «стоп» цепь блокировки также разрывается и двигатель останавливается.

Когда электродвигатель закончил цикл работы, он должен не только остановиться, но и начать вращение в обратную сторону. Это можно сделать вручную, нажав кнопку «назад». Для автоматического же управления необходимо установить ещё один концевой выключатель *KBН*, который будет замыкаться вместе с размыканием выключателя *KBВ*. Замыкание конечного выключателя *KBН* равносильно включению кнопки «назад». При этом срабатывает электромагнит *КН*, который замыкает силовые контакты  $H_3$ ,  $H_2$  и  $H_1$ .

Как видно из схемы, контакт  $H_3$  соединён с первым проводом, а контакт  $H_1$ —с третьим проводом силовой сети. Такое переключение вызывает обратное вращение (реверсирование) электродвигателя.

Одновременно с возбуждением катушки электромагнита *КН* замыкается контакт *БН*, который блокирует цепь питания *КН* точно так же, как это происходит при ходе вперёд с контактом *БВ*. Когда и эта операция закончится, разрывается цепь конечного выключателя *КВН* и электродвигатель останавливается. Далее рабочий цикл повторяется.

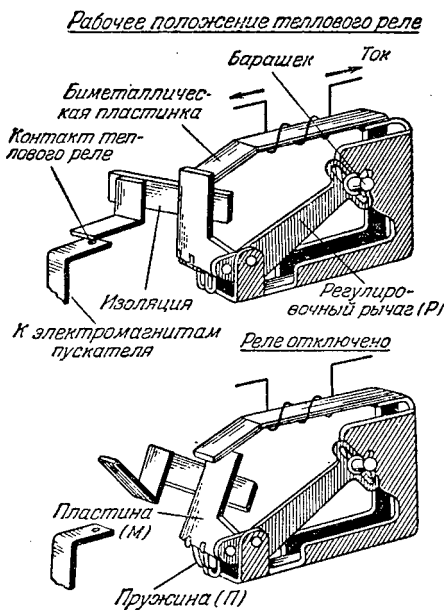


Рис. 76. Схема теплового (биметаллического) реле.

В случае перегрузки электродвигателя биметаллическая пластинка *БП* через контакт *КП* разрывает цепь питания электромагнита и двигатель автоматически останавливается.

На рис. 76 показаны два положения биметаллического реле, в котором ток проходит не непосредственно по пластинкам, а по нагревательным обмоткам. Когда по цепи электродвигателя, а следовательно, и по нагревательной обмотке, проходит нормальный ток, то контакт теплового реле замкнут (вверху). При более сильном токе биметаллическая пластинка изгибается вверх и освобождает

вашёлку, которая под действием пружины поворачивается и разрывает связанный с нею контакт (см. рис. 76, внизу).

После автоматической остановки двигателя необходимо подождать 2—3 минуты с тем, чтобы дать возможность реле охладиться. Затем нажатием специальной кнопки биметаллическое реле вновь взводится, и цепь восстанавливается. Для установки момента выключения служит регулировочный рычаг. Освободив барашек, рычаг поворачивают вниз и закрепляют его в новом положении.

Некоторые типы магнитных пускателей не имеют тепловой защиты, другие—неревверсивные—имеют только одну группу пусковых контактов и один электромагнит. Пульт управления в этом случае имеет только две кнопки—«пуск» и «стоп».

Условия запуска двигателей улучшаются с применением ступенчатых или плавных реостатов. Представляют интерес бесконтактные автоматические реостаты, изготовляемые из полупроводниковых материалов.

Уже давно известно, что уголь обладает большим отрицательным температурным коэффициентом, т. е. при повышении температуры его электрическое сопротивление не увеличивается, как у металлов, а понижается.

Таковыми же свойствами обладают термисторы, изготовляемые из окисей, карбидов и сульфидов металлов: окиси урана, окиси меди, из смеси окиси меди с окисью марганца, из смеси окислов титана и магния, сернистого серебра, окиси цинка и других полупроводников.

С применением термисторов создан автоматический бесконтактный реостат для пуска в ход электродвигателей.

Термистор включается последовательно с электродвигателем. В момент пуска двигателя термистор относительно холоден, сопротивление его велико и пусковой ток двигателя ограничен (рис. 77). Постепенно термистор нагревается, сопротивление его падает и ток нарастает.

Таким образом, термистор срезает пиковое значение пускового тока и затем может быть накоротко замкнут для более экономичной работы двигателя.

В качестве иллюстрации того, насколько резко изменяется сопротивление термистора от температуры, приведём пример с сернистым серебром. При температуре 16° Ц термистор из сернистого серебра имеет сопротивление 90 000 ом. При 33° Ц оно примерно в три раза меньше,



при  $60^\circ$  меньше в восемь раз, а при  $107^\circ$  Ц равно всего 835 омам.

Резкое уменьшение омического сопротивления термисторов при повышении температуры даёт возможность использовать их в ряде автоматических устройств (высокочувствительные болометры для измерения тепловой радиации, автоматические терморегуляторы и сигнализаторы, реле времени и т. д.).

Повреждение или неправильная эксплуатация электрических сетей нередко приводит к короткому замыканию, при котором от генераторов к месту повреждения устремляется громадный ток, разрушающий провода, кабели и коммутационную аппаратуру.

Для того чтобы обезопасить электрические установки и сеть от мощных токов короткого замыкания, необходимо применять автоматическую защитную аппаратуру.

Автоматические защитные устройства должны действовать своевременно, т. е. как можно быстрее отключать повреждённое оборудование, должны быть избирательными (селективными), достаточно чувствительными и совершенно надёжными.

Требование селективности состоит в том, что автоматические устройства должны отключать только тот элемент электрической установки, в котором возникло повреждение или ненормальный режим. Все же остальные участки электрической цепи должны бесперебойно продолжать работу.

Допустим, что произошло короткое замыкание на участке сети <sup>1)</sup>, питающей потребителя В (рис. 78). Ток короткого замыкания потечёт через автоматы защиты А-1, А-4 и А-5, как это показано на схеме стрелками. Очевид-

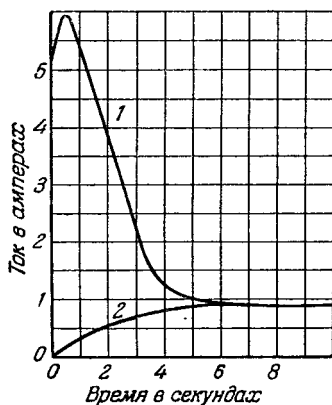


Рис. 77. Пусковой ток двигателя при пуске с помощью термистора (кривая 2) и без него (кривая 1).

<sup>1)</sup> Двух- или трёхпроводная сеть условно показана одинарными линиями.

но, что если при этом сработает только защита А-5, а автоматы А-1 и А-4 не сработают, то будет обеспечено бесперебойное снабжение электроэнергией остальных потребителей. Это и будет означать селективность защиты.

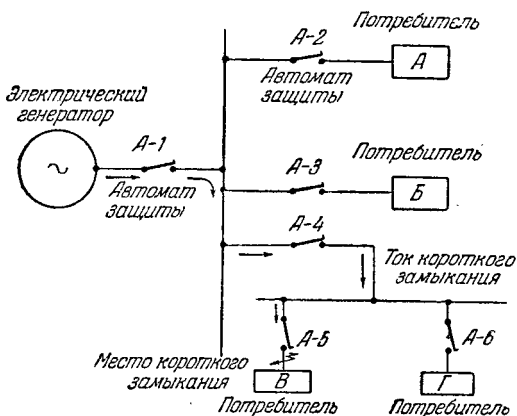


Рис. 78. Схема автоматической защиты энергосистемы.

В большинстве случаев для защиты электрических сетей применяются электромеханические реле. К числу таких реле относится реле максимального тока типа ЭТ (рис. 79).

Протекающий по обмотке реле ток создаёт магнитный поток, пронизывающий стальной Z-образный якорь. Под влиянием магнитного потока якорь стремится повернуться так, чтобы пронизывающий его поток был наибольшим.

При коротком замыкании ток увеличивается и якорь, преодолевая противодействующую силу пружины, поворачивается. При этом замыкаются электрические контакты, управляющие мощным выключателем.

Если ток в цепи снова уменьшится, то пружина возвратит якорь в прежнее положение и контакты разомкнутся. Ток трогания можно плавно регулировать, уменьшая или увеличивая натяжение спиральной пружины. На шкале реле нанесены значения тока трогания.

Для защиты сетей переменного тока используются индукционные реле, основанные на взаимодействии магнитного потока с индуктированным в проводнике электрическим током (рис. 80).

В диске, помещённом между полюсами магнитной системы, под действием переменного магнитного поля индук-

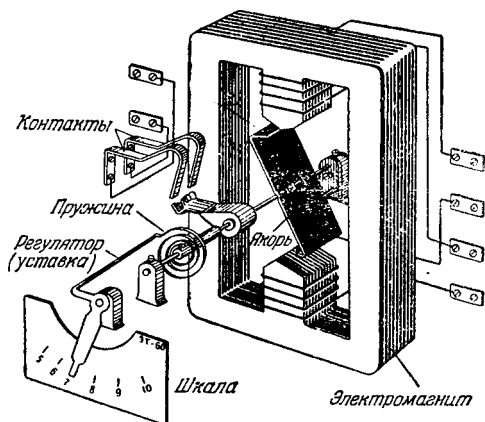


Рис. 79. Реле максимального тока серии ЭТ.

тируются электродвижущие силы, вызывающие вихревые токи. Полюс магнитной системы разделён на две части. На одну его часть насажен короткозамкнутый виток из

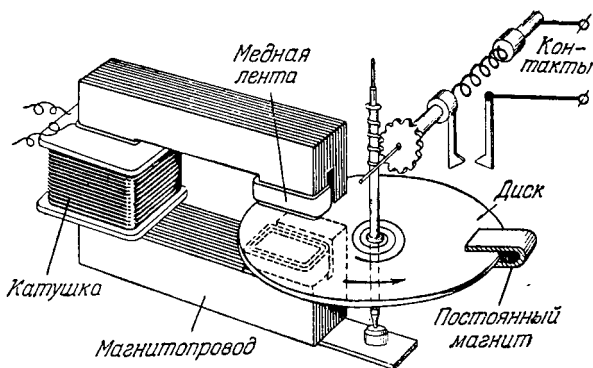


Рис. 80. Схема устройства индукционного реле.

медной ленты, который образует магнитный поток, сдвинутый по фазе относительно основного потока. Это необходимо для получения так называемого «бегущего» магнитного поля. При взаимодействии этого поля с вихревыми

токами создаётся вращающий момент, под воздействием которого диск стремится повернуться вокруг оси и замкнуть неподвижные контакты реле. Ток срабатывания устанавливается натяжением спиральной пружины, а время—червячной передачей и тормозящим постоянным магнитом.

Селективность достигается регулированием времени срабатывания реле. Быстрее всех срабатывают наиболее удалённые от источника питания реле. На следующем участке сети устанавливают защиту с большей выдержкой

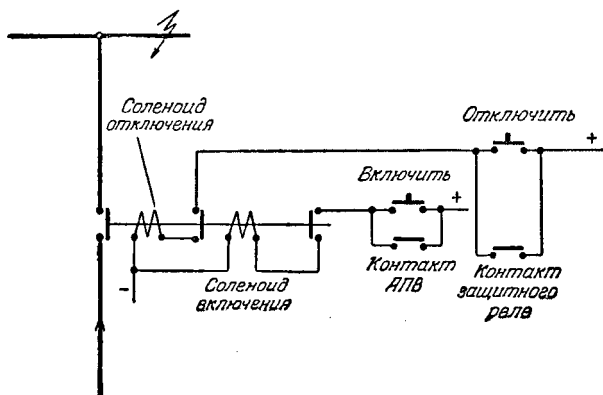


Рис. 81. Упрощенная принципиальная схема АРВ (на схеме не показано промежуточное реле).

времени. Автоматы защиты главных питающих проводов сети настроены на максимальное время срабатывания.

Учитывая возможность случайных кратковременных повреждений линий электропередачи, часто применяют устройства автоматического повторного включения АРВ, которые делают попытки повторного включения линии. Автоматы повторного включения основаны на применении электромагнитных реле и реле времени. Принципиальная схема включения АРВ показана на рис. 81. В случае короткого замыкания срабатывает реле защиты, которое своими контактами приводит в действие соленоид отключения и тем самым отключает повреждённый участок сети. Через некоторое, весьма небольшое, время вступает в действие АРВ, замыкающий контакт в цепи соленоида включения. Таким образом, линия вновь оказывается включённой.

Если короткое замыкание устранено, то операция на этом заканчивается. Если же повреждение подтверждается, то реле защиты отключает линию вторично.

Для защиты генераторов от внутренних коротких замыканий используются реле минимального напряжения. Быстродействующие защитные автоматы предохра-

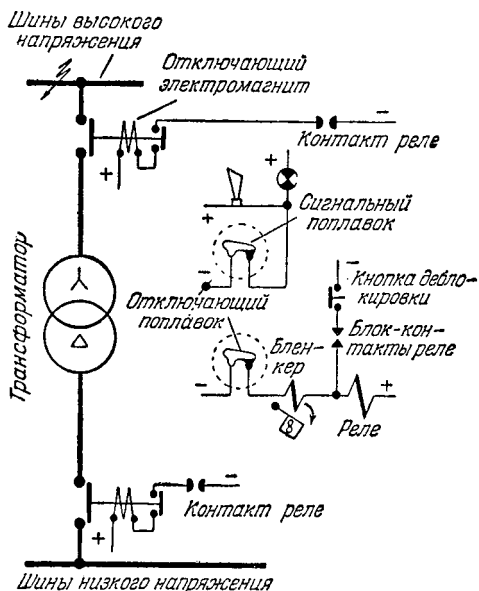


Рис. 82. Принципиальная схема включения газового реле.

няют генераторы также от замыканий на землю, от коротких замыканий на шинах, от перегрузок и т. д.

Для защиты трансформаторов применяются газовые реле. Это—небольшой резервуар, внутри которого один под другим укреплены два поплавка с ртутными контактами для сигнализации и автоматического отключения (рис. 82).

Когда трансформатор работает нормально, поплавки подняты и контакты их разомкнуты. Если же вследствие внутренних повреждений в кожухе трансформатора скапливается газ, то уровень масла начинает понижаться, верхний поплавок поворачивается вокруг оси и замыкает

ртутные контакты цепи сигнализации. В случае более серьёзного повреждения трансформатора возникает бурное газообразование, вызывающее опрокидывание нижнего поплавка, контакты которого также замыкаются и производят отключение трансформатора.

Газовое реле действует и в случае механических повреждений кожуха, когда происходит утечка масла.

Для того чтобы обслуживающий персонал быстро обнаружил отключённый трансформатор, в цепь нижнего контакта включён электромагнитный клапан с номером (бленкер).

## Автоматические защитные устройства на транспорте

Защитными устройствами на железных дорогах являются автостопы, системы сигнализации и автоблокировки. Упрощённая схема железнодорожной автоматической блокировки показана на рис. 83. Блок-участки рельсового пути электрически изолированы друг от друга, что отмечено зачернёнными разрывами рельсов. На одном конце каждого блок-участка установлена так называемая путевая электрическая батарея, расположенная в неглубоком бетонированном колодце около светофора.

Два провода от полюсов электрической батареи через сопротивление идут соответственно к двум рельсам. Ток путевой батареи *Б-2* по рельсам поступает в путевое реле *ПР-1*, находящееся на другом конце блок-участка (направление тока показано стрелками). Реле *ПР-1* держит якорь притянутым, замыкая через верхний контакт линейного реле *ЛР-1* цепь питания зелёной лампы светофора. Если бы поезд находился на блок-участке № 3, то линейное реле *ЛР-1* вместо зелёной лампы включало бы жёлтую. Однако в рассматриваемом случае поезд уже сошёл с блок-участка № 3, и задние оси последнего вагона находятся на блок-участке № 4. Поэтому линейное реле *ЛР-1* возбуждено и также держит якорь притянутым.

Питание в обмотку линейного реле *ЛР-1* подаётся от сигнальной батареи *СБ-3* третьего блок-участка через замкнутые контакты путевого реле *ПР-2*.

В это время реле *ЛР-2* обесточено, так как его электрическая цепь разорвана путевым реле *ПР-3* четвёртого блок-участка, которое не получает питания от следующей рельсовой цепи, замкнутой осями проходящего поезда.

Поэтому в светофоре, контролирующем блок-участок № 3, оказывается включённой жёлтая лампа, показывающая, что следующий участок занят.

Так как путевое реле ПР-3 обесточено, то его нижний контакт замыкает цепь питания красной лампы светофора, контролирующего блок-участок № 4.

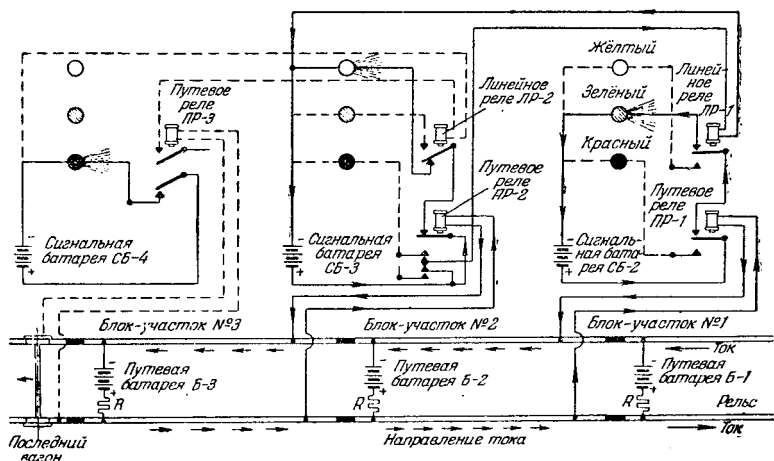


Рис. 83. Упрощенная схема железнодорожной автоблокировки.

Как только поезд сойдёт с четвёртого блок-участка и перейдёт на пятый, красный сигнал сменится жёлтым, а жёлтый—зелёным.

Большое значение для железнодорожного транспорта имеют приборы для автоматической остановки поездов—автостопы.

Автостоп (рис. 84) останавливает поезд, если машинист не заметил красного сигнала. Для этого около каждого светофора, рядом с рельсами, устанавливается так называемый путевой индуктор, состоящий из колебательного контура, настроенного на частоту 1000 периодов в секунду. Под тележкой локомотива, в непосредственной близости от рельсов, подвешивается другой индуктор, по конструкции сходный с путевым и также настроенный на частоту 1000 периодов в секунду. Локомотивный индуктор питается переменным током от лампового электронного генератора и создаёт переменное магнитное поле.

При прохождении локомотивного индуктора над путевым индуктором в последнем вследствие магнитной индукции возникает электрический ток.

Если поезд проходит запрещающий сигнал, то резонансный контур путевого индуктора создаёт своё собственное, противоположно направленное, магнитное поле, которое оказывает воздействие на локомотивный индуктор. Вследствие этого реле, включённое в анодную цепь последней лампы усилителя, отпускает свой якорь и замыкает электрические контакты управляющих приборов. Вначале

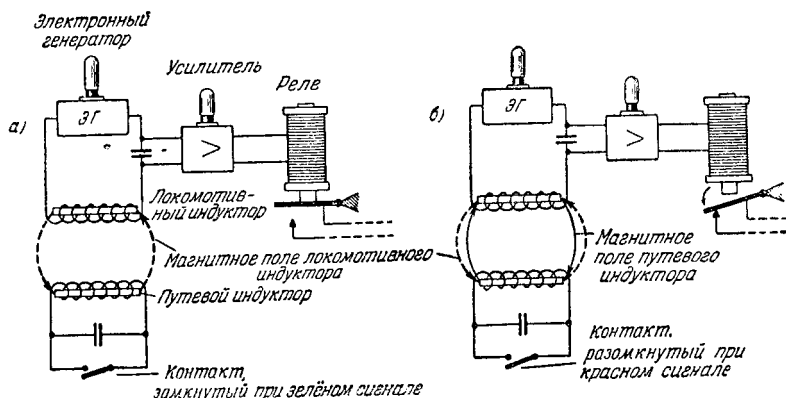


Рис. 84. Упрощенная схема индуктивно-резонансного автостопа: а) при проезде зелёного сигнала; б) при проезде красного сигнала.

эти приборы включают гудок, предупреждающий машиниста, что поезд приближается к красному сигналу. Машинист должен нажатием специальной рукоятки подтвердить, что он следит за сигналами светофора. Если машинист не нажмёт этой рукоятки (рукоятки бдительности), то автостоп через 7—8 сек. автоматически остановит поезд, включив электропневматический клапан экстренного торможения.

На зелёный сигнал автостоп не реагирует, так как при этом контакт реле, связанного со светофором, замыкает колебательный контур путевого индуктора накоротко. Вследствие этого путевой индуктор не может создать мощного магнитного поля, воздействующего на локомотивный индуктор, и поезд проходит мимо при возбуждённом реле локомотивного индуктора.



Индуктивно-резонансный автостоп работает совершенно надёжно в любую погоду и при любой скорости поезда.

Советские инженеры создали новую, ещё более совершенную систему так называемого непрерывного автостопа, который останавливает поезд не только перед красным сигналом, но и в тех случаях, когда лопнул рельс или разобран путь впереди поезда.

Как же устроен и действует этот автостоп?

Впереди локомотива по обеим его сторонам укреплены специальные приёмные катушки. Они располагаются над рельсами железнодорожного полотна. По рельсам течёт прерывистый ток, состоящий из отдельных импульсов, наподобие точек и тире в телеграфных аппаратах. Этот импульсный ток вырабатывается особым прибором—кодовым трансмиттером.

Сигналы автоблокировки различаются по числу импульсов в серии. Когда на путевом светофоре горит зелёный сигнал, кодовый трансмиттер посылает по рельсам три импульса, при жёлтом сигнале—два, а при красном—один.

Импульсы тока создают вокруг рельсов магнитное поле, которое при движении поезда пересекается приёмными катушками локомотива. В приёмных катушках от этого возникает электрический ток. Этот слабый ток усиливается электронным усилителем так же, как, например, слабый ток антенны усиливается радиоприёмником.

Усиленный ток приёмных катушек направляется в особый прибор, называемый дешифратором. Дешифратор преобразует импульсы тока в световые сигналы и они загораются на светофоре паровозного машиниста.

В случае, если машинист не обратит внимания на запрещающий сигнал, автостоп даст предупредительный свисток и через 7—8 сек. остановит поезд.

Если в рельсе образуется сквозная трещина шириной хотя бы в одну сотую долю миллиметра или будет разобрано железнодорожное полотно, электрическая цепь участка разрывается. По рельсам перестают протекать импульсы тока. В это же мгновение на локомотивном светофоре загорается красный сигнал и тревожно гудит гудок. А через 7 сек., как и в предыдущем случае, автостоп останавливает поезд.

Это замечательное изобретение советских инженеров гарантирует полную безопасность движения, облегчает труд машинистов, позволяя водить поезда в любую погоду на наибольшей скорости.

## Глава VII

### АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ

Основными функциями устройств автоматического управления являются запуск, остановка, торможение, реверсирование, поворот на определённый угол различных механизмов в зависимости от времени, пройденного пути или значений некоторых параметров.

Широкое применение получили электроприводы; рассмотрим их в первую очередь. Различают автоматизацию одного и нескольких связанных электроприводов. Одиночный электропривод приводит в действие простейшие машины, не связанные в работе с другими машинами и механизмами. В сложных машинах применяются многодвигательные автоматизированные электроприводы.

В некоторых современных металлообрабатывающих станках имеется несколько согласованно работающих электродвигателей. Так, например, мощный токарный станок Уралмаша имеет 37 двигателей, приводящих в движение его отдельные части. Бумагоделательный агрегат состоит из группы прессовых валов, ряда сушильных цилиндров, разрезного и накатного аппаратов. Каждый из этих механизмов бумагоделательной машины приводится в действие отдельным электродвигателем. Общая мощность всех электродвигателей—около тысячи киловатт. Бумажная масса непрерывной лентой движется от вала к валу, от цилиндра к цилиндру. Скорости валов и цилиндров должны быть согласованы друг с другом с очень большой точностью. При рассогласовании бумажная лента рвётся, технологический процесс нарушается и получается большое количество бракованной продукции.

Современные блюминги, слябинги, рельсобалочные и листопрокатные станы также имеют сложное электрооборудование, нуждающееся в согласованном автоматическом управлении. Поточные станочные линии, автоматические цехи и заводы-автоматы представляют собой

примеры ещё более сложных взаимосвязанных комплексов с многочисленными электродвигателями.

Автоматическое управление электроприводами обеспечивает не только согласованную и надёжную работу оборудования, но и высокую производительность, малый расход электрической энергии и безопасность.

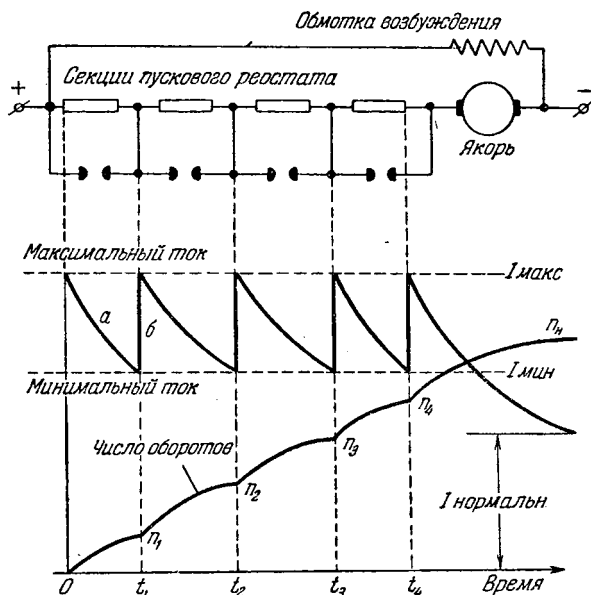


Рис. 85. Пусковая диаграмма двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением.

Маломощные электродвигатели пускаются в ход, останавливаются и реверсируются с помощью контакторов или магнитных пускателей, без пусковых реостатов. Иначе обстоит дело при управлении двигателями большой мощности. Пуск таких двигателей, их торможение и управление скоростью осуществляются при помощи реостатов, вводимых в цепь ротора или статора.

Рассмотрим процесс пуска мощного электродвигателя постоянного тока с параллельным возбуждением (рис. 85).

В начальный момент возникает большой пусковой ток, величина которого определяется напряжением сети и сопротивлением обмотки якоря двигателя с реостатом.

По мере разгона двигателя потребляемый им ток уменьшается (см. часть *a* кривой). Если при этом сопротивление в цепи якоря оставить прежним, то двигатель не разовьёт нужной скорости и будет работать в неэкономичном режиме. Нужно, продолжая процесс пуска, отключить одну секцию реостата шунтированием её контактами. Это вызовет новое резкое увеличение тока (кривая *b*) и постепенный его спад. При этом число оборотов возрастёт. Затем последовательно, одна за другой, отключаются остальные секции реостата в цепи якоря двигателя, и число оборотов его постепенно возрастает до нормального. Противозлектродвижущая сила, пропорциональная ско-

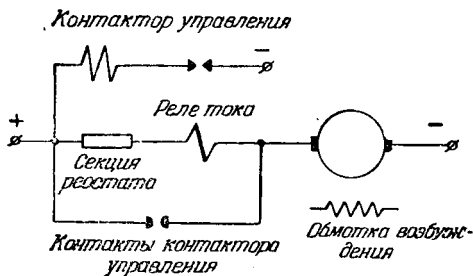


Рис. 86. Упрощенная схема управления двигателем постоянного тока при запуске.

рости вращения якоря, направлена навстречу напряжению питания и поэтому ток уменьшается.

При автоматическом управлении электроприводом в зависимости от тока переключение секций пускового реостата производится в те моменты, когда ток снижается до минимального значения ( $I_{\text{мин}}$  на графике рис. 85).

Осуществляется это с помощью токового реле, срабатывающего при токе  $I_{\text{мин}}$ .

Импульс управления поступает в контактор, который своими мощными контактами шунтирует секцию (рис. 86). На схеме для простоты показан реостат только с одной секцией.

Как уже указывалось, противозлектродвижущая сила двигателя, которую генерирует его якорь при вращении в магнитном поле, пропорциональна скорости вращения. Отсюда следует, что можно применить реле, реагирующие на ту или иную величину э. д. с. и подающие импульс

на включение контактора при достижении определённой скорости. Такое реле включается параллельно якорю электродвигателя (рис. 87), а его контакт приводит в действие мощный контактор, шунтирующий пусковое сопротивление.

Автоматическое управление при пуске двигателей можно производить и в зависимости от скорости. В этом случае секции реостата переключаются в моменты достижения приводом заданных значений скорости. Для этого нужно иметь реле, реагирующие на изменения скорости, например центробежные реле.

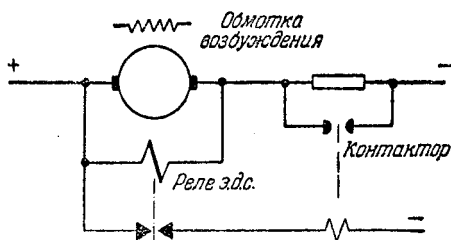


Рис. 87. Принципиальная схема автоматического управления в функции скорости.

Как мы видели из пусковой диаграммы (рис. 85), ток и скорость вращения двигателей в процессе пуска меняются в зависимости от времени. Поэтому для автоматического запуска двигателей можно применять реле выдержки времени, которые шунтируют секции пусковых реостатов одну за другой через определённые промежутки времени.

Разумеется, такой метод пуска двигателя применим только в том случае, если параметры сети (напряжение, частота) и величина нагрузки на двигатель остаются неизменными.

Первая секция пускового реостата шунтируется контактами реле в момент времени  $t_1$ , вторая— $t_2$ , третья— $t_3$  и т. д. Эти действия могут производиться реле времени, настроенными на различные выдержки времени. Сначала срабатывает одно реле, которое, шунтируя пусковое сопротивление своими контактами, включает вместе с тем второе реле, настроенное на выдержку времени, равную  $(t_2 - t_1)$ , и т. д.

Реле  $P-1$  (рис. 88) начинает отсчёт времени с момента отключения его катушки блок-контактом  $L$ . Когда реле

отпустит свой якорь, то контактная пластина замкнёт цепь питания контактора  $K-1$ , который зашунтирует первую секцию реостата. Второй контактор управляется посредством реле  $P-2$ , включённого параллельно первой секции пускового сопротивления. Напряжение на этой катушке равно падению напряжения на первой секции реостата.

Под действием этого напряжения реле  $P-2$  и держит притянутым свой якорь. В тот момент, когда контактор  $K-1$  зашунтирует своими контактами первую секцию пускового реостата, катушка реле  $P-2$  лишается тока. Через

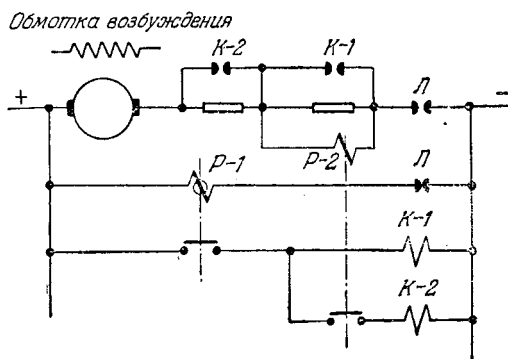


Рис. 88. Автоматическое управление в функции времени:

$P-1$  и  $P-2$ —реле,  $K-1$  и  $K-2$ —контакторы,  $L$ —контакты пускового контактора.

некоторое время, равное времени отпущения реле  $P-2$ , якорь его отпадает и замыкает цепь контактора  $K-2$ .

Возможно также автоматическое управление в зависимости от ускорения, осуществляемое при помощи реле ускорения. В начале каждого участка (см. рис. 85) нарастание скорости происходит быстро, т. е. ускорение велико, но к концу кривая скорости становится всё более и более пологой, т. е. ускорение уменьшается. Принцип автоматического управления в зависимости от ускорения заключается в том, что переключение секций пускового реостата производится в моменты времени, когда ускорение уменьшается до определённого значения.

В качестве реле ускорения можно применить чувствительное электромагнитное реле, присоединённое к якорю

двигателя постоянного тока через трансформатор (рис. 89, а) или последовательно с конденсатором (рис. 89, б). Можно также воспользоваться тахогенератором, создающим напряжение, пропорциональное скорости, а затем трансфор-

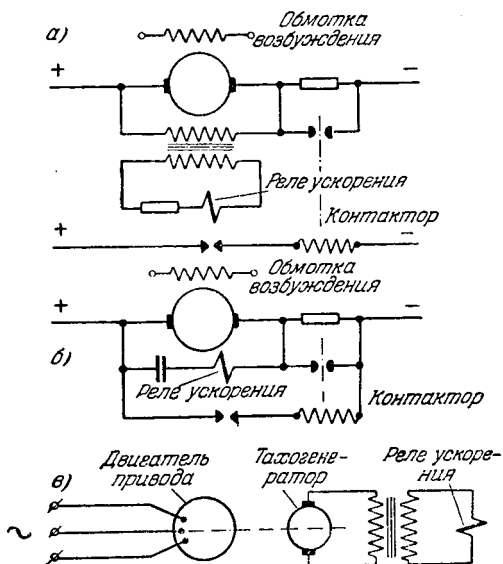


Рис. 89. Автоматическое управление в функции ускорения.

матором, развивающим напряжение, пропорциональное ускорению (рис. 89, в). Таким образом, осуществляется двойное дифференцирование угла поворота двигателя по времени.

## Г л а в а VIII

### АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

В промышленности широко применяются устройства, осуществляющие автоматическое регулирование заданных значений температуры, давления, влажности, скорости, напряжения, тока и других величин.

Назначение устройств автоматического регулирования состоит в том, чтобы отклонение контролируемой величины

от заданного значения было несущественным, длилось небольшое время и быстро приходило к норме.

Автоматические регуляторы выполняются в самых разнообразных конструктивных и схемных вариантах. Известны чисто механические устройства, какими, например, являются центробежный регулятор числа оборотов паровой машины и чисто электронные приборы.

По роду действия автоматические регуляторы делятся на регуляторы прерывистого и непрерывного действия. Регуляторы прерывистого действия производят измерение и перестановку регулирующего органа периодически, через равные промежутки времени. Регуляторы непрерывного действия непрерывно осуществляют процесс регулирования. В случае отклонения величины от заданного значения регулятор немедленно «вмешивается» в работу установки и приводит её к нормальному режиму.

Регулирующий орган, перемещающийся за счёт усилия, возникающего в чувствительном элементе, и не требующий применения внешних дополнительных источников энергии, называется регулятором прямого действия. Регулятор непрямого действия отличается от регулятора прямого действия наличием усилительного устройства и серводвигателя.

Благодаря усилителям на исполнительные механизмы воздействует уже не первичный измерительный прибор, а мощный серводвигатель, приводимый в действие сжатым воздухом, давлением жидкости или электроэнергией.

Если в результате процесса регулирования регулируемая величина точно возвращается к заданному значению, то мы имеем дело с так называемым **а с т а т и ч е с к и м** регулированием.

Если же в результате регулирования имсет место отклонение от заданного значения, то такое регулирование называют **с т а т и ч е с к и м**.

Различие между статическим и астатическим регулированием можно пояснить следующими примерами.

Если разность между имеющейся и заданной величинами преобразуется в электрический ток, который «держит» регулирующий клапан с электромагнитом в нужном рабочем положении, то имеет место статическое регулирование. При нём обязательно должна существовать разность между имеющейся и заданной величинами, иначе клапан, не поддерживаемый электромагнитом, полностью опустится. Чем больше должен быть поднят клапан, тем большей должна быть эта разность (статизм).



Если же разность между имеющейся и заданной величинами вызывает вращение электродвигателя, переставляющего клапан, то регулирование будет астатическим. При нём разность между имеющейся и заданной величинами может быть выбрана до нуля, так как при остановке двигателя клапан сохранил достигнутое положение.

Электромагнитный клапан отличается от клапана с электродвигателем тем, что положение первого пропорционально разности между имеющейся и заданной величинами, а положение второго — накоплению (интегралу) этой разности во времени, потому что разность величин в последнем случае преобразуется не в перемещение, а в скорость перемещения. Перемещение же получается в результате интегрирования скорости по времени, поэтому в теории автоматического регулирования электродвигатель называют интегрирующим звеном.

Устройства программного регулирования отличаются тем, что регулируемая величина изменяется во времени по заранее заданной программе.

Частным случаем автоматического регулятора является следящая система, которая воспроизводит с усилением изменения каких-либо параметров, например механических перемещений.

Следует отметить, что регулируемая величина не сразу возвращается к норме. Вследствие инерции исполнительного и других органов регулятора часто происходит перерегулирование, т. е. переход регулируемой величины в сторону, противоположную первоначальному отклонению от её нормального значения (рис. 90). Такое колебание около нормального значения регулируемой величины

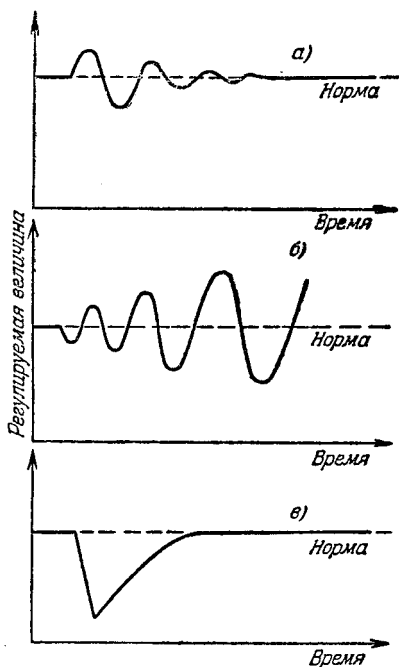


Рис. 90. Графики изменения регулируемой величины в процессе регулирования:

а) колебательный переходный процесс при устойчивом регулировании; б) то же при неустойчивом регулировании; в) апериодический процесс при устойчивом регулировании.

носит либо затухающий характер (устойчивое регулирование), либо, наоборот, всё более и более возрастающий (неустойчивое регулирование). В современных системах регулирования можно осуществлять изменение регулируемой величины плавно, по аperiodическому закону (см. кривую *в* на рис. 90).

Каждый регулятор имеет определённую степень нечувствительности, в пределах которой он не реагирует на изменение регулируемой величины. Степень нечувствительности выражается обычно в процентах от полного диапазона изменения регулируемой величины и в современных автоматических регуляторах составляет 1—2%.

Остановимся на некоторых примерах систем автоматического регулирования.

Классический регулятор уровня прямого действия И. И. Ползунова (рис. 91) состоит из поплавка (чувствительный элемент), заслонки (регулирующий орган) и передачи между ними. В зависимости

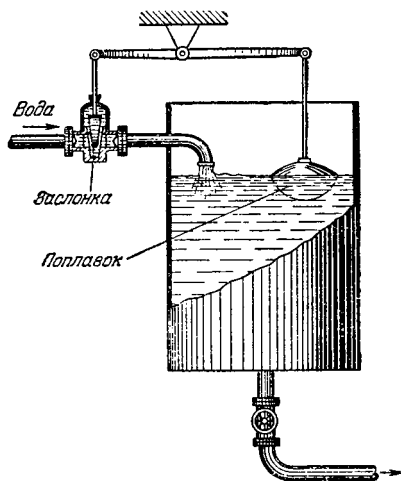


Рис. 91. Регулятор уровня воды прямого действия (И. И. Ползунов).

от расхода воды заслонка открывается в большей или меньшей степени и, следовательно, поплавок в равновесии занимает разные положения (статическая система).

На рис. 92 изображена схема автоматического регулятора уровня воды с усилительным устройством. Бак с водой через две гибкие трубки соединён со вспомогательным сообщающимся сосудом. Вспомогательный сосуд установлен на пружине, которая стремится поднять его вверх. Упругой силе пружины противодействует сила тяжести сосуда с водой. Чем выше будет уровень воды в сосуде, тем ниже сосуд опустится и тем сильнее он сожмёт пружину.

Со вспомогательным сосудом жёстко связана так называемая струйная трубка, в которую непрерывно насосом

подаётся масло под давлением. Струйная трубка может поворачиваться так, что при подъёме сосуда её конец устанавливается против отверстия верхнего канала серводвигателя, а при опускании—против отверстия нижнего канала. По этим каналам масло попадает соответственно в верхнюю или нижнюю полости цилиндра поршневого

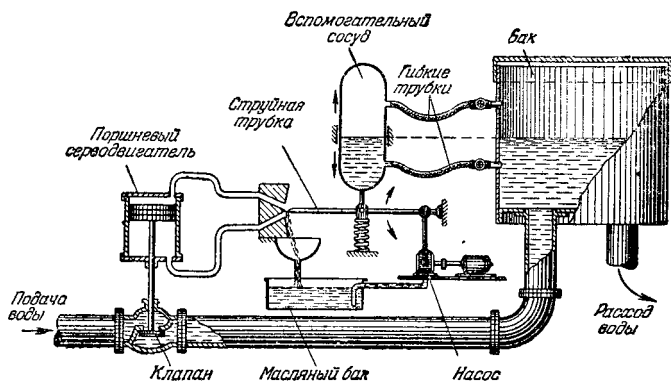


Рис. 92. Регулятор уровня воды непрямого действия с гидравлическим усилительным устройством.

серводвигателя, шток которого жёстко связан регулирующим клапаном.

В данном примере чувствительным элементом является вспомогательный сосуд, дополнительным источником энергии—масляный насос, усилителем—струйная система, двигателем—цилиндр с поршнем, а исполнительным органом—клапан регулятора непрямого действия.

Электрические генераторы, приводимые паровыми машинами, паровыми турбинами и двигателями внутреннего сгорания, преобразуют, как известно, механическую энергию в электрическую. Для производства электроэнергии на современных тепловых электростанциях (ТЭЦ) особенно широко применяются турбогенераторы.

Достаточно скорости турбогенератора измениться на небольшую величину, чтобы изменилась частота тока, отдаваемого им в сеть. В промышленных же установках все электродвигатели и различные приборы рассчитаны на стандартную частоту, 50 периодов в секунду, отклонение от которой допускается лишь очень небольшое.

Регулятор числа оборотов (рис. 93), основанный на действии центробежной силы,—одно из старейших устройств

механической автоматики. От вала паровой машины через редуктор вращается центробежный маятник, состоящий из двух тяжёлых металлических шаров, укрепленных на стержнях шарнирного механизма.

При уменьшении нагрузки число оборотов машины увеличивается, шары маятника расходятся в стороны и поднимают стальную муфту. Преодолевая действие пружины, муфта увлекает за собой рычаг *АВ* регулятора.

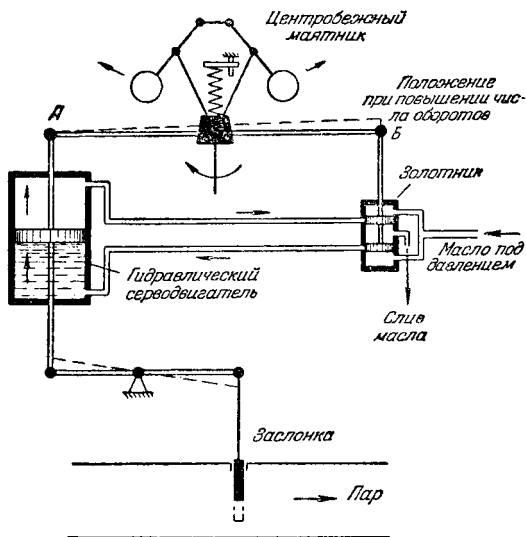


Рис. 93. Упрощенная схема автоматического регулятора числа оборотов со статической характеристикой.

Точка *А* рычага *АВ* связана с поршнем гидравлического серводвигателя, а точка *Б*—с золотником.

Вначале конец *А* рычага *АВ* остаётся неподвижным, а перемещается только конец *Б*, открывая доступ рабочей жидкости (маслу) в серводвигатель. Масло под давлением войдёт в нижнюю полость серводвигателя и начнёт перемещать его поршень вверх. Из верхней полости серводвигателя масло будет выходить между тарелками золотника в сборный резервуар.

Поршень серводвигателя, перемещаясь вверх, произведёт два действия. Во-первых, он уменьшит впуск пара в турбину, во-вторых, начнёт поднимать конец *А* рычага

$AB$  для обратной перестановки золотника в целях предупреждения перерегулирования. Такая система обратной перестановки называется жёсткой обратной связью.

В установившемся состоянии золотник должен перекрыть отверстия трубок, поэтому точка  $B$  займёт исходное положение. Но точка  $A$  и муфта должны несколько сместиться для того, чтобы обеспечить новое положение заслонки. Следовательно, система обладает статизмом.

Таким образом, конец  $B$  рычага вернётся в исходное положение, а конец  $A$  останется в новом, смещённом положении. Муфта регулятора также останется несколько смещённой кверху по сравнению с её положением при нормальном числе оборотов. Подвижная система регулятора достигнет нового равновесия при несколько завышенной скорости вращения турбины.

При понижении числа оборотов шары центробежного маятника сближаются и муфта опускается. Рычаг опускает вниз клапан золотника, который подаёт масло в верхнюю полость серводвигателя. Поршень передвигается вниз и приоткрывает заслонку, выпуск пара в турбину увеличивается до тех пор, пока число оборотов турбины не достигнет заданной величины.

Так как в результате регулирования каждому новому значению нагрузки будет соответствовать значение угловой скорости, несколько изменённое по сравнению с нормальной, то характеристика регулирования получается статической.

Для изменения нагрузки турбины при неизменной скорости её вращения можно воздействовать на пружину центробежного регулятора. Иногда для этого применяют небольшой вспомогательный электродвигатель, перемещающий через червячную передачу пластинку, в которую упирается пружина (рис. 94).

Нажимая кнопку «убавить», диспетчер заставляет вспомогательный электродвигатель вращаться в одну сторону. Пружина при этом ослабляется. Нажимая кнопку «прибавить», двигатель включают в обратном направлении. При этом пружина сжимается.

В результате этого изменение нагрузки турбины от значения  $P_{\text{норм}}$  до значения  $\pm P_1$  не вызовет изменения числа оборотов. Характер кривой, определяющей статическую харак-

теристика турбины, не изменится, но в случае «убавить» она переместится вниз, в другом случае — вверх (рис. 94).

Для перехода от статической характеристики регулятора к астатической связь поршня серводвигателя с концом рычага *АВ* нужно сделать не жёсткой, а упругой. Эта задача решается присоединением к регулятору масляного успокоителя (катаракта), как это показано на рис. 95. Поршень серводвигателя регулятора воздействует теперь

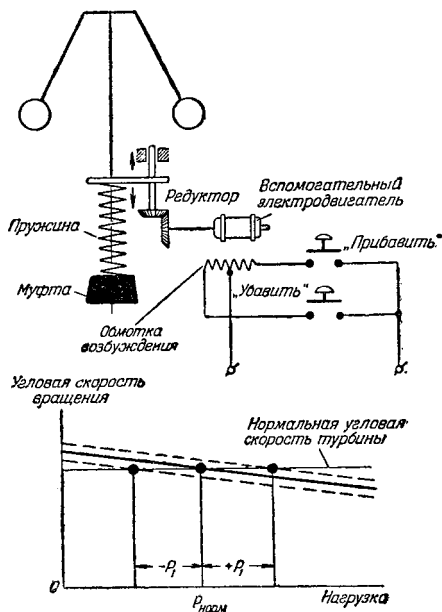


Рис. 94. Изменение статической характеристики центробежного регулятора числа оборотов.

на конец *А* рычага не непосредственно, а через цилиндр масляного катаракта. Верхняя и нижняя полости цилиндра катаракта соединены между собой металлической трубкой через вентиль, изменяющий скорость перетекания масла из одной полости в другую.

С противоположной стороны на конец *А* рычага воздействуют компенсирующие пружины. Они стремятся вернуть точку *А* в исходное положение. Устройство, состоящее из масляного катаракта и компенсирующих

пружины, называется изодромным устройством или просто изодромом<sup>1)</sup>.

Процесс изодромного регулирования скорости вращения турбины делится на два цикла. Вначале регулирование протекает так же, как и в предыдущем случае, так как при большой скорости движения катаракт ведёт себя

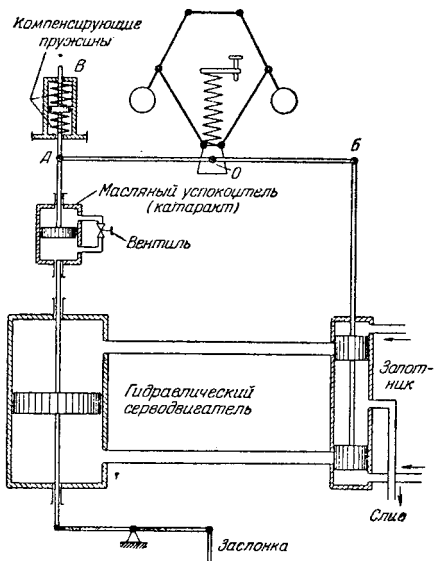


Рис. 95. Упрощенная схема изодромного регулирования (связь в точке *O* с вращающейся муфтой показана условно).

как жёсткое звено. Только после того, как заслонка убавит впуск пара, приходит в действие изодромное устройство. Во втором цикле регулирования пружина будет постепенно поднимать конец *A* рычага *AB* в исходное положение, преодолевая сопротивление катаракта, причём поршень серводвигателя, регулирующая заслонка и цилиндр катаракта остаются в новом положении.

Советские инженеры создали гидродинамическую систему регулирования, в которой центробежный механизм заменён центробежным насосом, не нуждающимся в механических передачах (рис. 96).

<sup>1)</sup> Изодром—равнобегущий.

Центробежный насос-датчик, вращаемый валом турбины, создаёт давление, пропорциональное скорости вращения. Это давление преобразуется в пропорциональное перемещение посредством поршневого преобразователя. Последний представляет собой небольшой металлический цилиндр с пружиной и поршнем, воспринимающим давление масла от центробежного насоса-датчика.

Рычаг, связанный с поршнем преобразователя, поднимает золотник, управляющий серводвигателем. Масло от

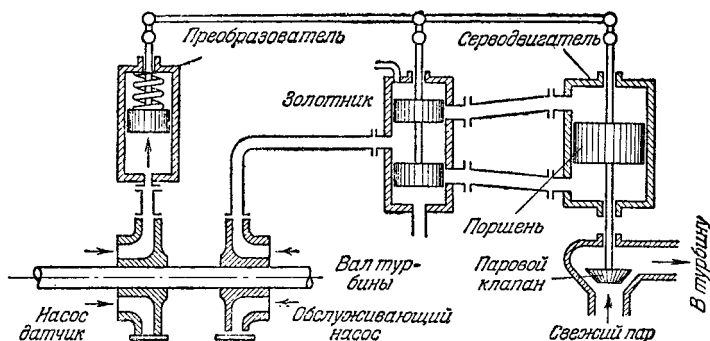


Рис. 96. Гидродинамический регулятор числа оборотов паровой турбины (принципиальная схема).

обслуживающего насоса поступает в верхнюю полость серводвигателя и опускает его поршень. При этом паровой клапан прикрывается и впуск пара в турбину уменьшается. Турбина начинает изменять число оборотов.

Поршень серводвигателя не только прикрывает паровой клапан, но и переставляет золотник в среднее положение. Поршень серводвигателя при этом останавливается. Таким образом, достигается новое равновесие между скоростью и нагрузкой турбины.

Большое значение в промышленности имеет автоматическое регулирование температуры. Одним из наиболее простых автоматических терморегуляторов является электроконтактный термометр с реле. Внутри стеклянной трубки термометра (рис. 97, слева) проходит тонкий капилляр, в который впаяны платиновые проволочки, соединённые с зажимами. Контакты замыкаются столбиком ртути.



Установка контактного термометра на заданную температуру производится перераспределением ртути в рабочей и запасяющей частях капиллярной трубки. При замыкании ртутью контактов термометра включается

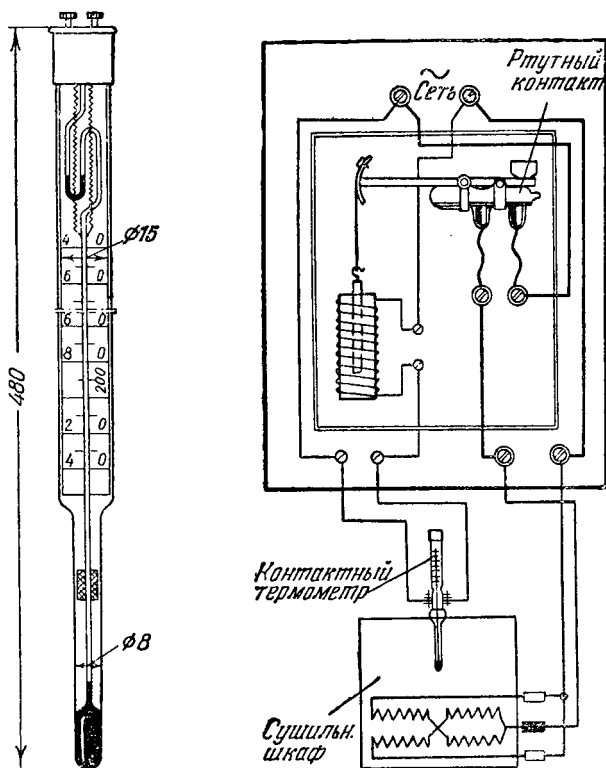


Рис. 97. Электроконтактный терморегулятор: слева—контактный термометр; справа—общая схема.

электромагнитное реле (рис. 97, справа), состоящее из соленоида и железного сердечника. Сердечник воздействует на тягу коромысла, на котором укреплен ртутный контакт в виде стеклянной трубки с ртутью и впаянными контактами. К контактам присоединяются гибкие медные проводники.

Когда трубка находится в горизонтальном положении (сердечник не втянут), ртуть покрывает оба контакта,

и поэтому цепь нагревательного прибора оказывается замкнутой. При втягивании сердечника в соленоид трубка поворачивается, ртуть переливается в одну сторону, обнажая один из контактов, и цепь питания нагревательного прибора разрывается.

Во избежание окисления ртути электрической дугой, возникающей при разрыве контактов, воздух из трубки выкачивается и она наполняется водородом при давлении 0,5—0,7 атмосфер.

После выключения нагревательного прибора температура в сушильном шкафу понижается и уровень ртути в контактном термометре начинает опускаться. Контакты термометра разрывают цепь питания соленоидного реле. Под действием силы тяжести правого плеча коромысла сердечник соленоида поднимается, а трубка принимает горизонтальное положение. При этом вновь замыкается ртутный контакт и цепь нагревательного прибора включается.

При помощи контактного термометра типа *TK-101* можно задавать любое значение регулируемой температуры в пределах от 40 до 220° Ц.

В некоторых автоматических регулирующих устройствах в качестве чувствительных элементов применены манометрические контактные термометры, биметаллические реле и т. д.

Для автоматического регулирования температуры, а также других величин, которые могут быть преобразованы в электрическое напряжение, часто применяются приборы, называемые **к о н т а к т н ы м и г а л ь в а н о м е т р а м и**.

Контактный гальванометр (рис. 98) как регулирующий и сигнализирующий прибор представляет собой обычный электроизмерительный прибор с той лишь разницей, что его стрелка при отклонении температуры от заданной может замыкать достаточно мощные электрические контакты.

При автоматическом регулировании температуры первичным чувствительным элементом является терморезистор, при нагревании дающая напряжение порядка нескольких десятков милливольт. Это напряжение измеряется гальванометром, развивающим очень малые усилия. Для дальнейшего действия системы регулирования необходимы усилители,

Контактный гальванометр снабжён устройством, которое резко отличает его от обычных показывающих электроизмерительных приборов и является механическим усилителем. Это устройство называется «падающей дужкой». Небольшой электродвигатель переменного тока приводит во вращательное движение кулачок, по которому скользит ролик. Ролик посредством рычага передаёт

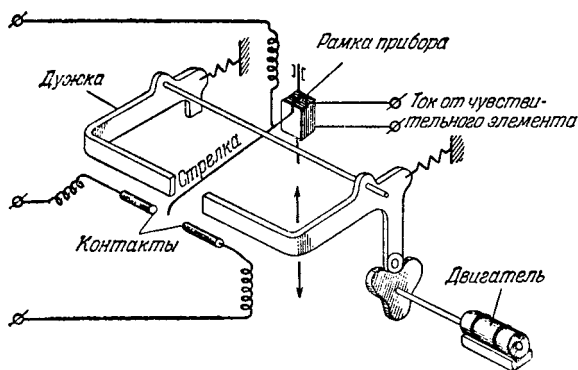


Рис. 98. Контактный гальванометр с падающей дужкой.

движение изогнутым металлическим дужкам. При вращении кулачка эти дужки периодически поднимаются и опускаются, прощупывая положение стрелки. Если, например, температура понизилась, то стрелка гальванометра окажется в левой части шкалы и падающая дужка при опускании надёжно прижмёт её к левому контакту. При отклонении в другом направлении будет замкнут правый контакт, а при отсутствии отклонения стрелка будет свободно проходить между дужками.

Вместо контактов, показанных на рис. 98, лучше применить ртутные контакты. Тогда стрелка гальванометра будет освобождена от токоподводящего проводника.

Ртутные контакты включают мощные цепи управления исполнительными механизмами. Одновременно регулятор может автоматически подавать звуковые или световые сигналы.

Вместо термопары к контактному гальванометру можно подключить любой другой электрический датчик, реагирующий на изменения регулируемой величины. Если,

например, к контактному гальванометру присоединить электрический датчик влажности или давления, то он с равным успехом будет регулировать влажность или давление.

Для более точного непрерывного контроля и регулирования температуры при помощи термопар применяются автоматические потенциометры, которые одновременно

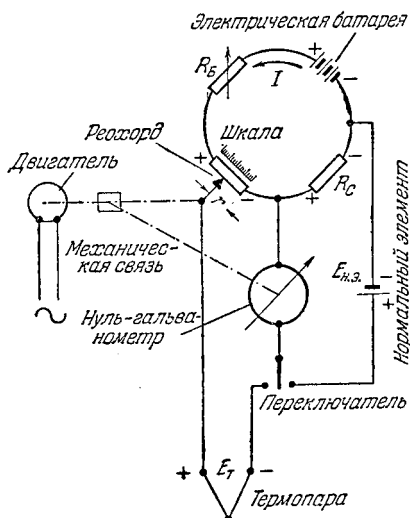


Рис. 99. Схема автоматического потенциометра с механическим усилителем.

могут производить запись изменений температуры на широкой бумажной ленте.

На рис. 99 показана простейшая электрическая схема потенциометра. Она состоит из электрической батареи и трёх активных сопротивлений. Одно из них, служащее для уравнивания, называется реохордом. К движку реохорда подключён один из проводов термопары, другой её провод присоединён к переключателю нуль-гальванометра.

Величина активного сопротивления  $R_c$  заранее подбирается такой, чтобы гальванометр показывал нуль при включении нормального элемента. При этом будет иметь место следующее соотношение:

$$IR_c = E_{н.э.}$$

Это означает, что падение напряжения на сопротивлении  $R_c$  уравнивается э. д. с. нормального ртутно-кадмиевого элемента.

Этот источник э. д. с. называют нормальным потому, что он в течение долгого времени не меняет своей электродвижущей силы (1,0185 в при 20°).

Назначение рассмотренной цепи заключается в периодической проверке значения рабочего тока  $I$ , играющего роль электрического эталона.

Для определения э. д. с. термопары переключатель устанавливается в левое положение. Стрелка гальванометра при этом отклонится. Дальнейшие действия сводятся к тому, чтобы добиться нулевого показания гальванометра. Для этого перемещают движок вдоль реохорда до тех пор, пока стрелка гальванометра не встанет на нуль. Тогда по шкале, расположенной около реохорда, можно прочесть значение э. д. с. термопары, а следовательно, и температуры.

В момент равновесия э. д. с. термопары равна по величине падению напряжения на участке реохорда между движком и нижним концом при протекании по реохорду рабочего тока  $I$ :  $I \cdot r = E_T$ . Эта э. д. с. направлена навстречу падению напряжения и компенсирует его. Таков принцип потенциометрического метода измерений. Практическое осуществление этого принципа в автоматическом приборе оказывается, однако, весьма сложным. Механизм автоматического потенциометра приводится в движение электрическим двигателем мощностью 60 вт с насаженными на его оси кулачками. Кулачки воздействуют на сложную кинематическую схему прибора, являющуюся механическим усилителем. В состав механизма входят падающая дужка, система рычагов и зубчатых колёс, ходовой винт, каретка и т. д. Этот механизм с весьма большой точностью периодически определяет положение стрелки гальванометра и в зависимости от этого осуществляет передвижение движка по реохорду и записывающего пера по бумаге.

В автоматических потенциометрах, предназначенных для регулирования температуры, механизм уравнивания, кроме того, управляет электрическими или пневматическими реле, воздействующими на исполнительные механизмы.

Таким образом, основным недостатком автоматических потенциометров с механическим уравниванием является сложность механизма. Другим их недостатком является сравнительно большая инерционность. Устранить эти недостатки пытались путём введения между стрелкой гальванометра, отмечающей ток небаланса, и приводной частью различных электрических усилителей. Одним из первых шагов было применение стрелочных контактов, управляющих реверсивным электродвигателем. Эта система позволила сократить число механических деталей, но была недостаточно надёжной в работе.

В одном из автоматических потенциометров подвижная система гальванометра снабжена зеркальцем, направляющим луч света на фотоэлемент. При равновесии фотоэлемент полусвещён и электродвигатель находится в покое. При нарушении баланса луч света либо полностью попадает на фотоэлемент, либо полностью с него сходит, что вызывает срабатывание соответствующих реле и включение электродвигателя в нужном направлении.

В другом автоматическом потенциометре вместо фотореле использован ламповый генератор, а на стрелке гальванометра укреплен тончайший металлический лепесток (флажок). Флажок вместе со стрелкой занимает разные положения относительно неподвижно укрепленных катушек индуктивности. Эти катушки включены в колебательный контур лампового генератора. В зависимости от положения флажка происходит генерация или срыв высокочастотных колебаний. Благодаря этому изменяется величина анодного тока и срабатывают реле, управляющие реверсивным двигателем.

Усилия многих инженеров и учёных были направлены на то, чтобы совсем исключить из схемы автоматического потенциометра чувствительный гальванометр, заменив его электронным нуль-органом. Эта задача в настоящее время успешно решена.

Схема электронного автоматического потенциометра показана на рис. 100. Если электродвижущая сила  $E_T$  термопары равна падению напряжения на участке  $r$  реохорда, т. е.

$$I \cdot r = E_T,$$

то напряжение на входе электронного усилителя равно нулю.

При изменении температуры э. д. с. термопары изменится и уже не будет уравниваться падением напряжения на реохорде. Появится разность напряжений (напряжение небаланса):

$$U_{\text{н}} = E_{\text{т}} - I \cdot r.$$

Это напряжение усиливается электронным усилителем и приводит в действие реверсивный электродвигатель, который будет перемещать движок реохорда до тех пор, пока не восстановится равновесие схемы. Одновременно с перемещением движка реостата двигатель перемещает показывающую стрелку и записывающее перо.

Для автоматического регулирования температуры на ось реверсивного двигателя насаживаются диски с вырезами (кулачки), к которым прижимаются ролики, замыкающие в определённых положениях те или иные электрические контакты. Контакты включают ток в электрический исполнительный механизм (рис. 101).

Усиление постоянных токов и э. д. с. требует очень сложных усилителей. Гораздо проще усиливать переменные э. д. с. Для преобразования постоянного тока небаланса в переменный (пульсирующий) служит модулятор, который периодически прерывает электрическую цепь. Пульсирующий ток подаётся на первичную обмотку трансформатора, а получающееся во вторичной обмотке переменное напряжение—на сетку первой электронной лампы усилителя.

Модулятор представляет собой катушку из изолированного провода, намотанную на постоянный магнит и питаемую переменным током частотой 50 гц. В магнитном поле этой катушки вибрирует железный якорь, поочерёдно замыкающий концы трансформаторной обмотки со средней точкой.

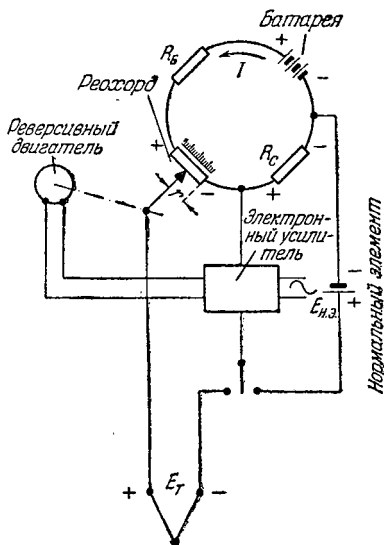


Рис. 100. Схема электронного автоматического потенциометра.

Автоматические потенциометры с термопарами в качестве чувствительных элементов предназначены для контроля и регулирования сравнительно высоких температур. Однако они неудобны для регулирования процессов при температуре ниже нуля. Для автоматического регулирования низких температур (от  $-120^{\circ}$ ) применяются не термопары, а термометры сопротивления.

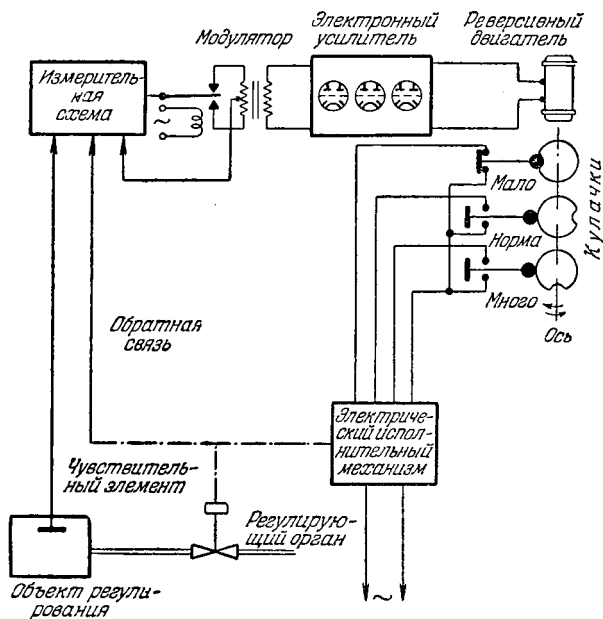


Рис. 101. Блок-схема регулятора температуры с электронным автоматическим потенциометром.

В устройствах автоматического регулирования термометры сопротивления включаются в схемы логометра или моста. При изменении температуры меняется сопротивление термометра и этим вызывается отклонение стрелки чувствительного электроизмерительного прибора. Отсюда следует, что для термометров сопротивления можно также применять механические усилители типа «падающих дужек».

Однако, пользуясь схемой уравновешенного моста, можно создать устройства, подобные автоматическим по-



тенциометрам. Такие устройства называются автоматическими уравновешенными мостами. Определение температуры с помощью уравновешенного моста сводится к измерению величины сопротивления термометра. В схеме уравновешенного моста (рис. 102) сопротивления  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  постоянны. В одно из плеч моста последовательно с реохордом включён термометр сопротивления  $R_t$ . Сопротивление реохорда делится движком на две части. Часть  $a-c$  добавляется к плечу  $R_3$ , часть  $c-b$  — к сопротивлению термометра. Здесь, так же как и в автоматическом потенциометре, движок реохорда передвигается до тех пор, пока стрелка гальванометра не установится на нуль. В этом случае, по условию равновесия моста, будет иметь место соотношение

$$\frac{R_t + R_{c-b}}{R_3 + R_{a-c}} = \frac{R_2}{R_1},$$

отсюда

$$R_t = \frac{R_2 R_3 + R_2 R_{a-c} - R_1 R_{c-b}}{R_1}.$$

В этом выражении, определяющем сопротивление термометра, а следовательно, и степень его нагрева, все сопротивления, за исключением  $R_{a-c}$  и  $R_{c-b}$ , имеют постоянную величину. Изменяя перемещением движка эти величины, можно уравновесить мост при любом  $R_t$ .

Искомая температура определяется положением движка реохорда и может быть непосредственно отсчитана по шкале.

Процесс определения температуры с помощью уравновешенного моста совершенно аналогичен процессу измерения посредством автоматического потенциометра. В обоих случаях он заключается в перемещении движка реохорда до тех пор, пока гальванометр не покажет, что ток в его цепи отсутствует. В электромеханических уравновешенных мостах автоматическое уравновешивание производится с помощью такого же сложного механизма, как и в автоматическом потенциометре.

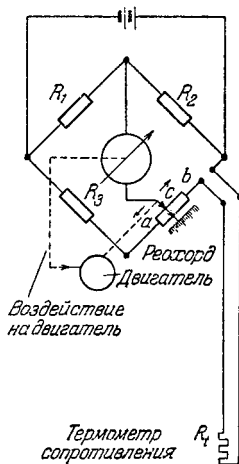


Рис. 102. Принципиальная схема уравновешенного моста.

В электронных автоматических уравновешенных мостах гальванометр заменён электронным усилителем, питающим реверсивный электродвигатель. Если схему уравновешенного моста питать переменным током, то потребность в модуляторе отпадает.

Регулирующие устройства в автоматических уравновешенных мостах выполняются так же, как и в автоматических потенциометрах.

Примером программного регулирования может служить система автоматического регулирования мощности электростанции по заданному графику.

В СССР появляется всё больше автоматических электростанций, работающих без постоянного дежурного персонала.

Однако у любой станции нагрузка в течение суток меняется в зависимости от числа включённых в сеть электродвигателей, осветительных, нагревательных и других приборов, потребляющих электроэнергию. Характер изменения нагрузки станции в течение суток для определённого времени года повторяется приблизительно с одинаковой закономерностью.

Суточное изменение нагрузки можно изобразить в виде графика, в котором по оси абсцисс откладывается время суток, а по оси ординат—активная мощность в киловаттах. Такой график можно поместить в автоматический регулятор мощности, который будет строго выдерживать заданный режим. Лента из плотного материала, вырезанная так, что она повторяет график мощности, закладывается между двумя направляющими пластинками и наматывается на барабаны (рис. 103). Один из барабанов (ведущий) непрерывно вращается часовым механизмом, перематывая ленту с другого барабана. На край ленты опирается ролик штанги, с которой связан движок реостата. При перемещении движка изменяется соотношение сопротивлений реостата. С помощью приборов типа автоматического потенциометра изменение сопротивления реостата вызывает действие вспомогательных электродвигателей, которые регулируют работу турбины или электрогенератора.

Некоторые гидротурбины работают более экономично, если при изменении напора воды менять положение лопастей рабочего колеса. Для автоматического регулирования мощности гидроагрегата в зависимости от уровня воды

в некоторых системах регуляторов используется явление электропроводности жидкости. В сосуд, сообщающийся с верхним бассейном гидростанции, погружено на различную глубину несколько электродов. В зависимости от колебания расхода воды будут включены различные электроды. Электроды соединены с обмотками электромагнитных реле, которые управляют работой гидротур-

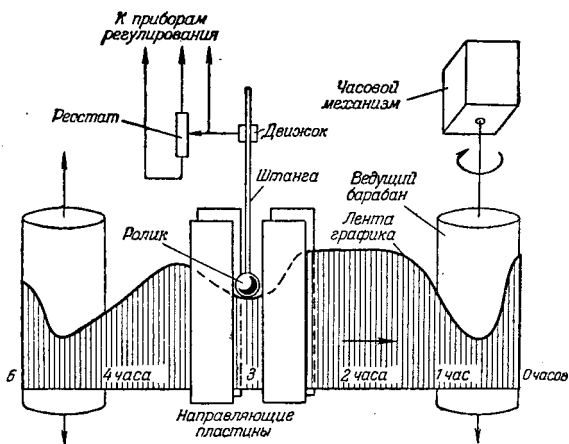


Рис. 103. Автоматическое регулирование мощности станции по заданному графику.

бины, изменяя угол поворота лопастей её рабочего колеса.

Была осуществлена и другая система автоматического регулирования мощности гидроэлектростанций в зависимости от горизонта воды верхнего бассейна. Эта система состоит из сообщающихся сосудов, поплавка-датчика, контактной системы и регулирующего устройства. Она обеспечивает более плавное регулирование работы гидростанции при колебании уровня воды, чем предыдущая система. Система эта рассчитана так, что незначительные колебания уровня воды, вызванные, например, движением судов, не вызывают больших колебаний уровня в сообщающихся сосудах и, таким образом, не дают ложных срабатываний регулирующего устройства. В одном из сообщающихся сосудов находится полый металлический поплавок, на вертикальной штанге которого укреплен стакан со ртутью. В ртуть на различную глубину погружены

электрические контакты, соединённые с реле. Если уровень воды мал, то ни один из контактов не соприкасается с ртутью и турбины гидростанции не работают. При повышении уровня воды последовательно замыкаются различные контакты и срабатывают соответствующие реле, которые либо увеличивают мощность работающих

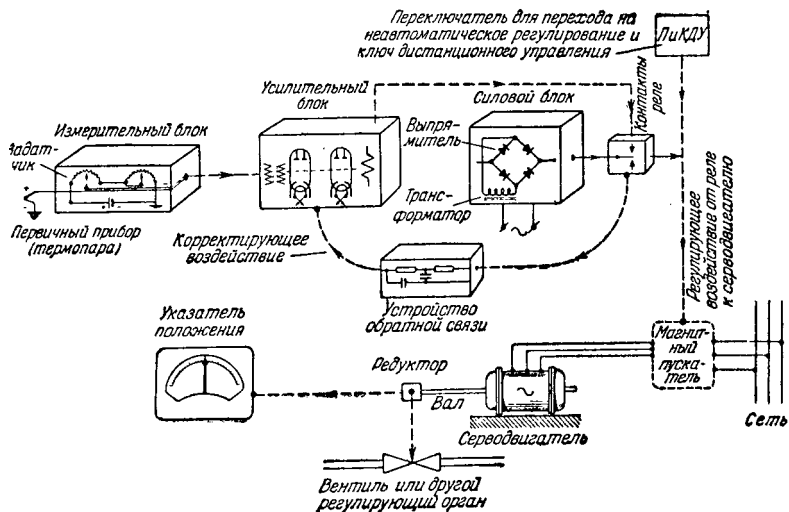


Рис. 104. Скелетная схема электронного регулятора ВТИ.

агрегатов, либо пускают в ход резервные агрегаты. При понижении уровня воды в бассейне все эти действия совершаются в обратном порядке. Описанные выше устройства часто называют не регуляторами, а автоматическими операторами (автооператорами), потому что они не только автоматически регулируют нагрузку турбогенераторов, но и производят включение или отключение их.

В последнее время при разработке и постройке автооператоров пользуются стандартными узлами автоматики: сельсинами, автопереключателями и т. д.

Для автоматизации различных промышленных установок в последние годы успешно применяются электронные регуляторы. Известно, что почти любую неэлектрическую величину (перемещение, давление, влажность, температуру и т. д.) можно преобразовать в соответствующую ей величину тока или разности потенциалов. Поэтому

практически любая величина может с большой точностью регулироваться электронными регуляторами. Благодаря высокой чувствительности электронных регуляторов мощность первичных приборов может быть весьма малой.

На рис. 104 показана схема электронного регулятора, разработанного группой сотрудников Всесоюзного теплотехнического института. Эта работа в 1950 году была отмечена Сталинской премией.

Первичные приборы измеряют (в данном случае при помощи термопары) величины, подлежащие регулированию, например, температуру, давление, влажность и т. д.

Измеренные величины преобразуются в электрические напряжения, которые в измерительном блоке сравниваются с напряжением задающего устройства (задатчика). Напряжение, соответствующее величине рассогласования, поступает в комбинированный усилитель, первый каскад которого представляет собой магнитный усилитель, а последующие каскады—электронный усилитель. В анодной цепи последнего каскада включено чувствительное поляризованное реле, которое управляет исполнительным электродвигателем. Электродвигатель непосредственно или через систему замедляющих передач (редуктор) воздействует на регулирующий орган, например, как это показано на рисунке, на вентиль трубопровода.

Если по условиям работы регулирующий орган требует применения двигателя большой мощности, то последний пускается в ход, останавливается и реверсируется не непосредственно от реле, а через промежуточное устройство—магнитный пускатель (показан пунктиром).

На схеме видны ещё два элемента: переключатель *П* и ключ дистанционного управления *КДУ*.

Назначение этих элементов носит вспомогательный характер. Они позволяют вмешиваться в работу регулятора в любой момент и переходить с автоматического на ручное управление серводвигателем. За положением вала серводвигателя можно наблюдать по специальному прибору—указателю положения, который связан с валом серводвигателя.

Устройство обратной связи соединяет управляющее устройство реле с электронным усилителем. Обратная связь может быть либо упругой, либо инерционной упругой. На одной из тепловых электростанций СССР установили электронный регулятор для автоматического

регулирования температуры перегретого пара прямого котла высокого давления. Поддержание температуры перегретого пара достигалось путём изменения подачи топлива. В результате испытаний было установлено, что применение регулятора с инерционной упругой обратной связью вместо регулятора с обычной упругой связью позволило значительно сократить время регулирования. Кроме того, приблизительно в два раза было уменьшено отклонение регулируемой величины от заданного значения—постоянство температуры перегретого пара поддерживалось с очень большой точностью.

Чем же объяснить преимущества электронного регулятора с инерционной обратной упругой связью?

В изодромном регуляторе с обычной упругой обратной связью скорость, с которой происходит процесс регулирования, пропорциональна величине и скорости изменения регулируемого параметра. В регуляторе же с инерционной обратной упругой связью скорость регулирующего воздействия пропорциональна, кроме того, ещё и ускорению регулируемой величины. Именно это обстоятельство повышает быстродействие регулятора и улучшает качество регулирования.

Как же работает электронный регулятор, скелетная схема которого изображена на рис. 104?

Из схемы видно, что первичный прибор, например термопара, соединён с измерительным блоком. Электродвижущая сила термопары в том случае, если регулируемая температура соответствует заданному значению, уравнивается падением напряжения на активном сопротивлении (левое сопротивление) измерительного блока. По этому сопротивлению постоянно проходит эталонный ток от сухого элемента. Величина этого тока регулируется посредством дополнительного реостата.

Если температура регулируемой установки, например температура перегретого пара котлоагрегата, изменится, то электродвижущая сила термопары не будет компенсироваться падением напряжения на сопротивлении задатчика.

Возникающее от этого разностное напряжение поступает в усилительный блок. Здесь оно предварительно усиливается с помощью магнитного усилителя напряжения.

Переменное напряжение от вторичной обмотки магнитного усилителя подводится к одной из управляющих сеток электронной лампы типа 6Н8; эта лампа в одном баллоне имеет два совершенно одинаковых триода. К другой сетке лампы подводится напряжение от устройства обратной связи. Оба эти напряжения усиливаются лампой и вычитаются одно из другого. Полученное напряжение подводится ко второй такой же лампе, ко второму каскаду усиления. От второй лампы питается обмотка поляризованного реле с переключающим контактом.

Контакт реле включает ток от селенового выпрямителя в магнитный пускатель. При одном направлении тока в обмотке контакт реле подаёт питание в ту из катушек магнитного пускателя, которая включает серводвигатель на прямой ход. При другом направлении тока в обмотке реле его контакт переключается и двигатель реверсируется.

Контакты поляризованного реле выполняют одновременно и другую функцию. Они управляют устройством обратной связи, состоящим из конденсаторов и активных сопротивлений.

В тот момент, когда воздействие устройства обратной связи уравнивается с воздействием внешнего сигнала (от первичного прибора), поляризованное реле размыкает контакт и серводвигатель быстро останавливается.

Электронный регулятор, о котором мы рассказали, работает от термопары. Другие типы электронных регуляторов мало отличаются от описанного выше. Первичными приборами в них являются манометры, дифференциальные манометры и тягомеры с индукционными датчиками, а также термометры сопротивления и т. п.

## Г л а в а IX

### СЛЕДЯЩИЕ СИСТЕМЫ

Следящие системы являются разновидностью систем автоматического регулирования. Назначение их состоит в том, чтобы движениями мощных приводных устройств повторять перемещения маломощных органов. В последнее время к следящим системам относят и такие устройства, которые посредством мощных приводов воспроизводят

не только механические перемещения, но изменения любых электрических или неэлектрических величин. Таким образом, следящие системы выполняют, по существу, функции измерительных устройств с использованием методов и технических средств автоматического регулирования.

Для пояснения особенностей следящих систем целесообразно обрисовать основные разновидности систем автоматического регулирования.

Назначение обычных систем автоматического регулирования, в частности большинства тех, которые были описаны выше, заключается в том, чтобы автоматически поддерживать заданное постоянное значение регулируемой величины.

Системы программного автоматического регулирования отличаются тем, что в них заданное значение регулируемой величины изменяется часовым механизмом по заранее заданной программе, а система должна автоматически вести процесс таким образом, чтобы действительные значения регулируемой величины в каждый данный момент времени с некоторым допуском были равны заданным.

Следящие системы можно представить себе как автоматические регуляторы, действующие по произвольной программе, т. е. реагирующие на любые изменения некоторой независимой величины как на новое задание.

Все автоматические регуляторы, в том числе и следящие системы, имеют общую структуру, характеризующуюся замкнутостью ряда действующих в них звеньев, и общий принцип действия, заключающийся в том, что все указанные устройства должны устранять возникающие рассогласования между заданными и имеющимися в действительности значениями некоторых величин.

В следящих системах заданными являются текущие значения координат произвольно перемещающегося тела или произвольно изменяющейся измеряемой величины, а действительными—воспроизводимые мощным приводом значения. Разность между тем и другим составляет рассогласование или, как ещё говорят, ошибку, на которую должна реагировать и которую должна устранять следящая система.

В настоящее время можно привести множество примеров следящих систем. Они встречаются в автоматических измерительных устройствах (автоматические компенсационные датчики, автоматические потенциометры), в счёт-



но-решающей технике (автоматические интеграторы), в устройствах для передачи движения на расстояние (приёмные следящие приводы), в радиолокации (автоматические радиолокаторы), в астрономии (автоматические телескопы), в машиностроении (автоматические копировальные станки) и во многих других областях техники.

В автоматическом потенциометре, который был рассмотрен ранее, перемещение каретки пера производится следящей системой с достаточно мощным электроприводом. Положениям каретки соответствует напряжение, снимаемое с реохорда. Это напряжение противопоставляется измеряемому напряжению, которое может в известных пределах изменяться по любому закону. В моменты равновесия напряжений сигнал ошибки равен нулю и следящая система находится в покое. Положительный или отрицательный сигнал ошибки (рассогласование) усиливается и вызывает действие электропривода, который перемещает каретку пера и щётку реохорда в новое положение, соответствующее новому значению измеряемого напряжения.

В автоматическом интеграторе интегрируемая величина представлена электрическим напряжением. Скорость вращения электропривода, с которым соединён счётчик оборотов при помощи следящей системы, меняется в зависимости от этого напряжения.

Суммарное число оборотов или суммарный угол, накапливаемые счётчиком, пропорциональны сумме (интегралу) скорости вращения за время работы агрегата.

С валом электропривода, кроме того, связан электрический тахометр (тахогенератор), который создаёт электрическое напряжение, пропорциональное скорости вращения. Это напряжение включается навстречу суммируемому напряжению и уравнивает его, если оно точно соответствует скорости вращения. При рассогласовании появляется разность напряжений (сигнал ошибки), которая усиливается и нужным образом изменяет скорость вращения электропривода.

В синхронно-следящих передачах движений положение управляющей рукоятки сравнивается с положением воспроизводящего устройства. В случае рассогласования образуется сигнал ошибки, который через усилитель и электропривод перемещает воспроизводящее устройство в нужное, согласованное положение. Такие передачи применяются для управления рулями кораблей и орудиями.

Следящие системы радиолокатора или телескопа при помощи мощных электроприводов автоматически перемещают антенну или трубу телескопа вслед за объектами наблюдения. При этом используются слабые радио- или световые сигналы, появляющиеся при выходе объектов из поля зрения. В этих следящих системах используются сложные усилители, фильтры помех и ряд дополнительных устройств, повышающих точность и надёжность действия.

Следящие системы автоматических копировальных станков, «ощупывая» линии чертежа или грани модели, перемещают мощные фрезерные головки для воспроизведения заданных форм в металле.

Во всех рассмотренных случаях используются схемы уравнивания одной задающей величины другой—воспроизводимой величиной. В измерении такие схемы называются компенсационными, а в автоматическом регулировании—схемами с обратными связями. Процесс компенсации (уравнивания) достигается при помощи вспомогательных двигателей и методов автоматического регулирования.

Все устройства автоматического регулирования являются сложными колебательными системами с внутренними источниками энергии, обратными связями, ускоряющимися массами, упругими элементами и трением разных видов. При неблагоприятных соотношениях параметров такие системы могут входить в режим незатухающих автоколебаний<sup>1)</sup> или недопустимо долго успокаиваться при изменениях входной величины.

Поэтому при проектировании регуляторов и следящих систем большее внимание обращается на их устойчивость и характер переходных процессов. На основании теоретических и экспериментальных исследований находят наилучшие соотношения между параметрами, а иногда вводят в систему специальные дополнительные корректирующие и успокаивающие устройства<sup>2)</sup>.

---

<sup>1)</sup> Харкевич А. А., Автоколебания, Гостехиздат, 1953.

<sup>2)</sup> Для подготовленных читателей можно рекомендовать несколько книг, в которых достаточно глубоко рассмотрены вопросы структуры и динамики описываемых устройств. Например, Воронов А. А., Элементы теории автоматического регулирования, Воениздат, 1954; Цыпкин Я. З. (редактор), Теория следящих систем, ИЛ, 1953; Попов Е. П., Динамика систем автоматического регулирования, Гостехиздат, 1954.

Общая структура простейшей следящей системы может быть представлена рис. 105. Здесь предполагается, что входной величиной является угол поворота вала малой мощности  $\theta_{вх}$ , а выходной—угол поворота вала большой мощности  $\theta_{вых}$ , который можно использовать, например, для поворота ствола орудия или трубы телескопа. Для упрощения не учитываются случаи, когда входной величиной является электрическое напряжение и когда, следовательно, понадобится вспомогательный преобразователь в виде реохорда для получения обратного напряже-

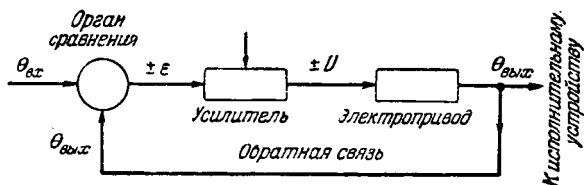


Рис. 105. Структурная схема следящей системы.

ния, пропорционального углу поворота электропривода.

Разность  $\theta_{вх} - \theta_{вых} \equiv \pm \epsilon$  (сигнал ошибки) получается в органе сравнения в виде электрического напряжения. Для этого в органе сравнения должен быть соответствующий электрический датчик. Сигнал ошибки усиливается и в виде управляющего напряжения  $\pm U$  поступает в реверсивный двигатель электропривода. Очевидно, что такая система будет обеспечивать слежение за перемещениями вала малой мощности.

Следящий привод начинает работать, когда возникает разница в угловом положении управляющего и исполнительного органов (угол рассогласования). При этом следящий привод уменьшает угол рассогласования почти до нуля, т. е. приводит управляющий и исполнительный органы в одинаковое положение. Этот процесс называется «отработкой угла».

Следящие системы по принципу действия могут быть разбиты на три основные группы:

1. Системы с постоянной скоростью отработки заданного угла независимо от скорости его изменения. Эта группа следящих систем имеет широкое распространение благодаря своей простоте. В основном это релейно-контактные системы, построенные на принципе включения

и выключения электродвигателя в том или ином направлении без регулирования его скорости.

2. Ко второй группе относятся следящие системы с плавным изменением скорости отработки заданного угла, пропорциональной его величине.

Таким образом, время, в течение которого обрабатывается заданный угол, приблизительно одно и то же: меняется лишь скорость отработки—большие заданные углы обрабатываются с большими скоростями, чем малые. Такой процесс отработки угла практически устраняет колебания двигателя привода около нулевого положения и обеспечивает, особенно при небольших углах рассогласования, большую точность работы.

Некоторые производственные процессы требуют высокой точности управления. Так, например, расстояние между валками прокатных станов для специальных высококачественных сортов стали мелкого профиля должно быть выдержано с точностью до двух сотых долей миллиметра.

Следящие устройства со скоростью, пропорциональной величине рассогласования, являются наиболее совершенными по точности и скорости отработки.

3. В третью группу входят следящие системы с циклической (периодической) отработкой угла. Эти системы обрабатывают заданный угол путём введения поправок на основе периодического сопоставления положений управляющей и исполнительной осей. Они применяются обычно там, где входная величина изменяется медленно.

Следящие системы с постоянной скоростью отработки заданного угла работают по принципу «включено—выключено» и характеризуются применением контактных датчиков и реле.

Наиболее простой является система с контактными полукольцами (рис. 106), играющими роль органа сравнения.

С электродвигателем через редуктор жёстко связан вал, на котором укреплены контактные кольца. Основное контактное кольцо разделено изолирующими промежутками на две равные части *а* и *б*. С ним соприкасается ролик задающего устройства. Кольца *А* и *Б* снабжены токоснимающими щётками, соединёнными с пусковыми реле *Л* и *П*. Контакты реле включают и выключают электрический двигатель постоянного тока, воздействуя на цепь якоря.

При положении ролика, соединённого с источником тока, на одном из изолирующих промежутков реле обесточены, контакты их разомкнуты и двигатель находится в покое. Если же ролик посредством рычага повернётся на некоторый угол  $\theta$ , то образуется электрическая цепь: плюс источника тока—ролик—полукольцо  $б$ —контактное кольцо  $Б$ —щётка—реле  $Л$ —минус источника тока.

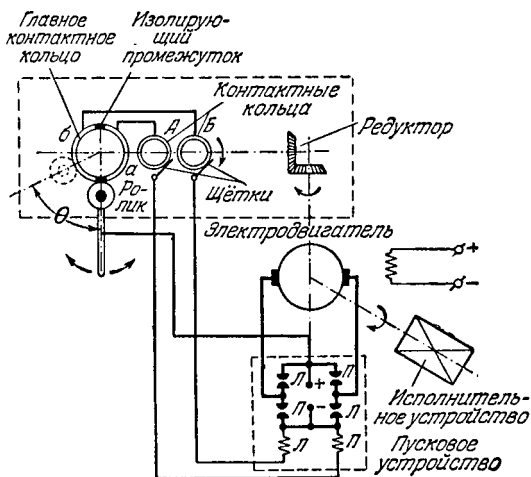


Рис. 106. Следящая система с контактными полукольцами.

Вследствие этого реле  $Л$  сработает и замкнёт две пары контактов  $Л$ , которые включают двигатель. Последний будет вращаться в направлении устранения рассогласования и повернёт на заданный угол исполнительное устройство и контактное кольцо.

Как только ролик снова попадёт на изолирующий промежуток, цепь тока прервётся, контакты реле  $Л$  разомкнутся, и двигатель остановится.

При установке ролика на полукольцо  $а$  соответственно сработает реле  $П$ , которое, замкнув контакты  $П$ , включит двигатель в обратную сторону, так как изменится направление тока в якоре.

В случае управления приводом на расстоянии, большем чем это позволяет механическое соединение, в схему

вводится какая-либо электрическая дистанционная, например сельсинная, передача.

Контактная следящая система может быть конструктивно выполнена различными способами. Так, например, вместо контактных колец с роликом часто применяют механический дифференциал. В этом случае увеличивается надёжность работы системы.

Контактное устройство с дифференциалом показано на рис. 107. Одна коническая шестерня дифференциала связана с валом двигателя, а другая — с задающим валом.

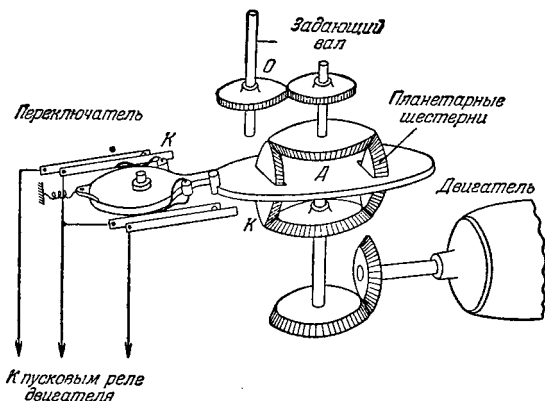


Рис. 107. Контактное следящее устройство с механическим дифференциалом.

При вращении задающего вала  $O$  планетарные шестерни дифференциала поворачиваются вместе с диском  $A$  и вызывают включение одной из пар контактов  $K$ . Двигатель включается в нужном направлении, и диск дифференциала возвращает контактный переключатель в исходное положение.

Применение дифференциала и неподвижных контактов позволяет исключить токоподводящую систему, что значительно улучшает конструкцию органа сравнения.

В рассмотренных схемах изменение направления вращения исполнительного устройства происходит путём реверсирования двигателя, который вследствие этого работает в тяжёлых условиях частого запуска. Это приводит к необходимости использования двигателей, рассчитанных на большие пусковые токи, т. е. имеющих большие

размеры, чем это требовалось бы при работе в нормальных режимах. Это обстоятельство вызывает также увеличение момента инерции вращающихся частей и увеличивает длительность переходных процессов.

Чтобы избавиться от частого реверсирования двигателя, применяют малоинерционные электромагнитные или гидравлические муфты, посредством которых достигается изменение направления вращения исполнительного устройства при неизменном направлении вращения двигателя. В целях уменьшения запаздывания следящей системы для

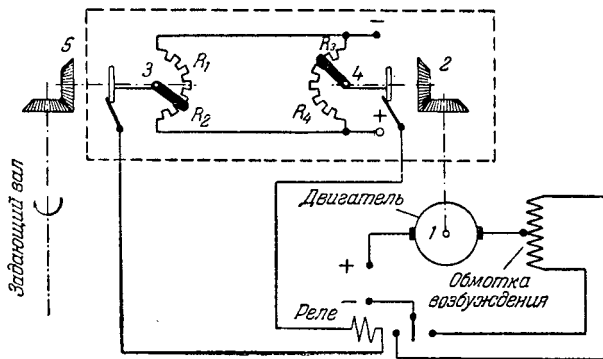


Рис. 108. Реостатная следящая система.

управления двигателем или муфтой небольшой мощности можно применять тиратроны, инерционность которых по сравнению с инерционностью электромагнитных реле ничтожна.

В реостатных следящих системах используется схема уравновешенного моста (рис. 108), в диагональ которого включается поляризованное реле или какой-либо усилитель.

Скользящий контакт 3 механически соединён с задающим валом, а контакт 4 через редуктор 2 связан с двигателем 1. В зависимости от направления тока в обмотке реле при разбалансе моста включаются правый или левый контакты и двигатель получает вращение в нужном направлении.

Преимущество применения реостатных элементов в схеме рис. 108 заключается в том, что они позволяют осуществить плавное управление двигателем. В этом случае реле с контактами необходимо заменить электронным или электромашинным усилителем.

Напряжение в диагонали моста  $R_1, \dots, R_4$ , снимаемое через токоподводящие кольца, пропорционально углу рассогласования, а полярность соответствует знаку рассогласования. После усиления это напряжение можно использовать для плавного регулирования скорости и реверсирования электрического двигателя

Вместо реостатных элементов можно применить индукционные, ёмкостные, фотоэлектрические и другие элементы, в которых отсутствуют трущиеся электрические контакты.

В качестве примера следящей системы циклического действия на рис. 109 приведена электронно-лучевая си-

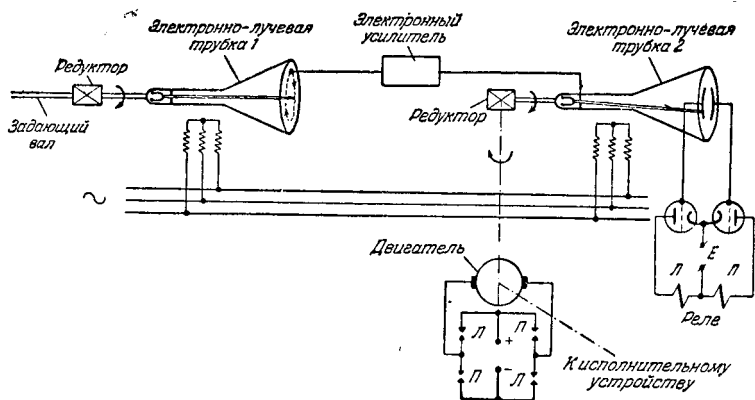


Рис. 109. Схема следящей системы с электронно-лучевыми трубками.

стема. Трубка 1, располагаемая на управляющем конце, имеет только один контакт, а трубка 2, связанная с двигателем, снабжена двумя контактными полукольцами. Электронный поток (луч) каждой трубки, генерируемый нитью накала, непрерывно развёртывается по кругу благодаря трёхфазным обмоткам, создающим вращающееся магнитное поле. Эти обмотки питаются от сети трёхфазного переменного тока. За каждый оборот электронного луча в трубке 1 в цепь лампового усилителя подаётся импульс тока, который после соответствующего усиления поступает на сетку электронно-лучевой трубки 2.

Сетка получает положительный потенциал, отпирая электронный луч, конец которого также перемещается по контактными полукольцам.



Если обе электронно-лучевые трубки расположены согласованно, то управляющий импульс тока отпирает трубку 2 в тот момент, когда её электронный луч находится в промежутке между полукольцами, вследствие чего двигатель останется в состоянии покоя. При повороте задающего вала фаза электронного луча задающей трубки сместится на некоторый угол и положительный потенциал на сетку второй трубки будет подаваться в те моменты, когда электронный луч находится на одном из следящих полуколец. Это вызовет подачу положительного потенциала на сетку одной из электронных ламп, вследствие чего двигатель запустится в ту или другую сторону. Двигатель, отработывая заданный угол, будет приводить электронно-лучевую трубку 2 в синфазное положение с трубкой 1.

---

## ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

### ТЕЛЕМЕХАНИКА

Телемеханика—техника управления, контроля и регулирования на расстоянии—находит большое применение в энергетических системах. Энергетические системы в наши дни представляют собой объединения большого количества мощных электрических станций и подстанций, зачастую удалённых друг от друга на значительные расстояния.

Суммарная мощность электростанций, входящих в энергосистему, составляет сотни тысяч, а в некоторых случаях достигает миллиона киловатт.

Расстояния же между электростанциями и подстанциями часто исчисляются десятками и сотнями километров.

Управление электростанциями и подстанциями энергосистемы сосредоточено в одном месте, в диспетчерском пункте (рис. 110).

Централизация управления энергосистемами и другими объектами несравненно выгоднее, экономичнее и технически целесообразнее, чем раздельное, несогласованное управление.

Централизация управления энергосистемами даёт возможность наиболее эффективно использовать энергетические ресурсы, бесперебойно снабжать электроэнергией промышленные объекты, транспорт, сельское хозяйство и т. д.

Централизация управления позволяет наиболее рационально распределять газ, воду, пар, нефть и т. п., используя трубопроводы протяжённостью в десятки и сотни километров. Весьма важное значение имеет управление на расстоянии движущимися объектами. Управлять объектами и контролировать их работу на больших расстояниях можно только с помощью средств и методов телемеханики.

Одной из главнейших функций телемеханических устройств является телеуправление. Всякое устройство

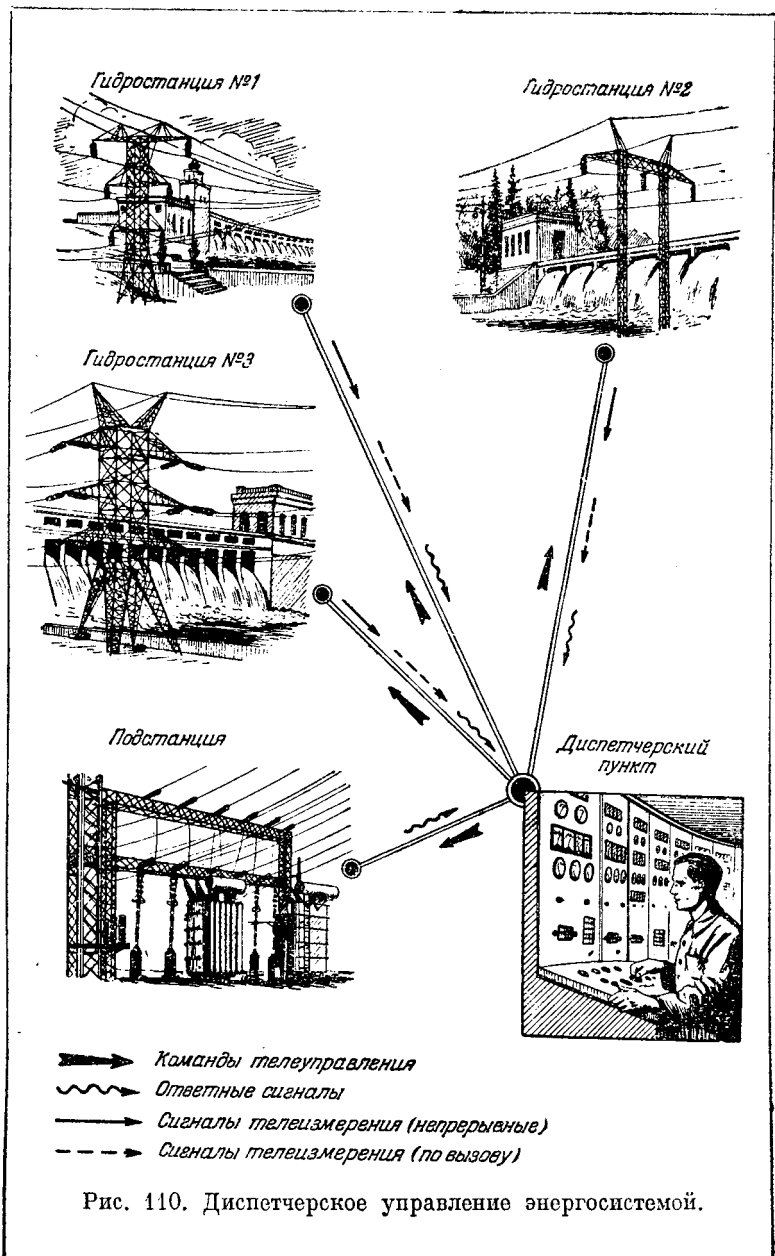


Рис. 110. Диспетчерское управление энергосистемой.

телеуправления состоит из передающего и приёмного устройств и линии связи между ними.

Передающее устройство преобразует команду в такую форму, чтобы её можно было передать по линии связи. Обычно для этого команда, например нажатие кнопки на пульте управления, перерабатывается передающим устройством в электрические импульсы, которые отличаются полярностью, фазой, формой, числом, продолжительностью, частотой и т. д.

Таким образом, различным командам, передаваемым по линии связи, придаются разные «качества», отличающие их друг от друга. Это делается для того, чтобы по одной линии связи передать как можно большее число команд так, чтобы они могли быть различены. Техника телеуправления достигла в этом больших успехов. С помощью современных средств автоматики и телемеханики можно передавать по одной линии связи, т. е. по одному «каналу», более 400 различных команд.

Назначение приёмного устройства заключается в расшифровке импульсов, принятых из линии связи, и в воздействии на аппаратуру управления объектом.

К телемеханике относятся также методы и средства автоматического контроля на расстоянии.

Автоматический контроль включает в себя не только передачу показаний приборов на расстояние, но и некоторые виды сложной сигнализации. Диспетчер, управляющий объектом, не видит, но в каждый момент времени точно знает, как выполняются его команды и в каком состоянии находятся управляемые им агрегаты.

На специальных сигнальных табло и на шкалах измерительных приборов отображаются все необходимые данные: давление пара в котлах, сила тока и напряжение генераторов, уровень воды в водохранилищах, движение поездов на линии и т. д.

Так, например, в энергетических системах в диспетчерский пункт должны передаваться показания измерительных приборов, характеризующих режим работы электрических станций, подстанций и линий электропередач. Диспетчера особенно интересует величина нагрузки энергосистемы, распределение нагрузки между отдельными электростанциями и направление потоков мощности, передаваемых по линиям электропередачи. Для этого в диспетчерском пункте устанавливаются приборы, показываю-

щие активную и реактивную мощности в энергосистеме. Это—количественные показатели работы энергетической системы. Наряду с ними важны и качественные показатели вырабатываемой энергии, т. е. напряжение и частота.

Кроме того, важно знать, как загружены отдельные трансформаторы, кабельные линии и другие элементы сети, какова сила тока в них; каковы давление и температура пара в котельных тепловых электростанций, каков уровень воды в бьефах гидроэлектростанций? Эти наиболее важные показатели состояния энергетических установок должны быть в точности известны диспетчеру в любой момент времени. Только руководствуясь ими, диспетчер может правильно распределять и регулировать энергию электростанций, входящих в энергетическую систему.

Некоторые электростанции автоматически дают сообщения о своей работе. Когда диспетчер поднимает трубку телефона и набирает номер станции, говорящий автомат (авторепорт) даёт полный отчёт о работе агрегатов, о количестве выработанной электроэнергии.

Устройство авторепорта похоже на механизм «говорящих часов», сообщающих по телефону время. На специальную ленту методами звукозаписи записаны различные режимы работы электростанции и состояние оборудования. Когда диспетчер набирает номер станции, приходят в действие установленные на ней автоматические приборы. Из всех записей, нанесённых на ленту, они выбирают именно ту, которая отражает состояние электростанции в данный момент времени, и автоматически включают эту запись в линию связи, к которой присоединён телефонный аппарат диспетчера. Если какой-либо машине электростанции угрожает опасность, автоматы, не дожидаясь запроса диспетчера, сообщат ему об этом и в случае надобности выключат машину.

Управление и контроль на расстоянии с большим успехом применяются не только в электроэнергетике, но и в других отраслях народного хозяйства. Так, например, на электрифицированных железных дорогах Московского узла нет ни сигнальщиков, ни стрелочников. Движением поездов на этом участке пути управляет диспетчер, который находится в Москве. Посредством аппаратуры телемеханического управления он переводит путевые стрелки, включает или выключает входные и выходные светофоры, следит за движением поездов.

На панели пульта управления диспетчера изображена светящаяся схема железнодорожных путей всего участка (рис. 111). По этой «живой» схеме видно, как движутся поезда. Над рукоятками пульта управления установлены

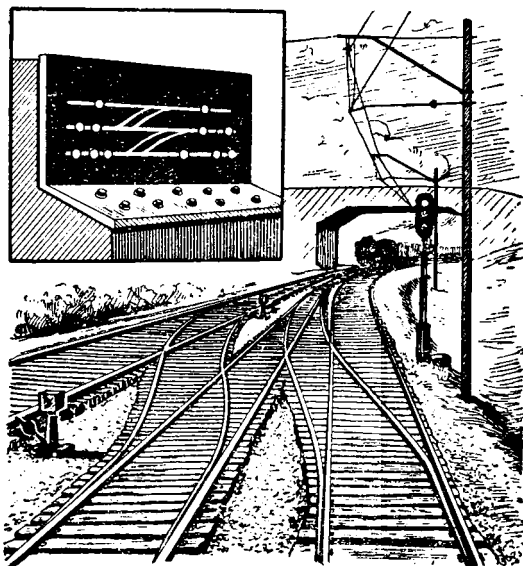


Рис. 111. Станционный пульт управления стрелками.

контрольные лампочки, которые сигнализируют диспетчеру о положении стрелок и светофоров.

Управление на расстоянии стрелками и световыми сигналами из одного пункта уменьшает численность обслуживающего персонала на станциях и разъездах и увеличивает пропускную способность дороги за счёт повышения скорости и безопасности движения.

## Глава X

### ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЕ

Обычные измерительные приборы не позволяют осуществлять передачу показаний на большие расстояния без специальных устройств и приспособлений. Но уже применение электрических контактов позволяет фиксировать на расстоянии предельные значения измеряемых

величин. Если на шкале манометра, измеряющего давление пара, против красной черты укрепить электрический контакт, то при соприкосновении стрелки с контактом цепь замыкается и на расстоянии включается звонок или сигнальная лампа.

Однако при управлении объектами на расстоянии необходимо передавать не только предельные, но также и промежуточные значения измеряемых величин. Для этого используются специальные телеизмерительные устройства. Различают системы телеизмерения ближнего (до 10—20 км) и дальнего (до сотен километров) действия.

Классификация телеизмерительных систем по дальности действия очень удобна. В системах ближнего действия обычно применяются методы, основанные на зависимости между измеряемой величиной и напряжением или силой тока в линии (методы интенсивности).

В системах же дальнего действия применяются методы, использующие электрические импульсы и переменный ток изменяющейся частоты.

В системах ближнего действия измеряемая величина обычно преобразуется в значения тока или напряжения, которые и передаются по линии связи. Величина тока или напряжения, передаваемых по линии связи, очень невелика. Обычно значения тока в линии не превосходят нескольких миллиампер, а напряжения — нескольких вольт. Чтобы избежать влияния индуктивности и ёмкости линии связи, передача показаний приборов осуществляется чаще всего постоянным током.

### **Телеизмерительная система с реостатным датчиком**

В самой простой телеизмерительной системе ближнего действия использовано переменное сопротивление (реостатный датчик), подвижной контакт которого связан со стрелкой измерительного прибора. По мере увеличения угла поворота стрелки меняется ток в линии, а следовательно, и показания вторичного (приёмного) прибора. Недостатком этой системы является зависимость точности показаний приёмного измерительного прибора от состояния линии связи и источника питания.

Во избежание влияния температуры окружающей среды в линию включается активное сопротивление большой величины. Благодаря этому изменение параметров линии связи уже не будет играть большой роли. Так, например, если сопротивление линии равно 10 омам, то увеличение его на 1 ом вызовет большое изменение тока. Если же сопротивление линии вместе с добавочным сопротивлением равно 1000 омам, то увеличение его на 1 ом не так сильно будет сказываться на величине тока, а следовательно, и на показании приёмного прибора.

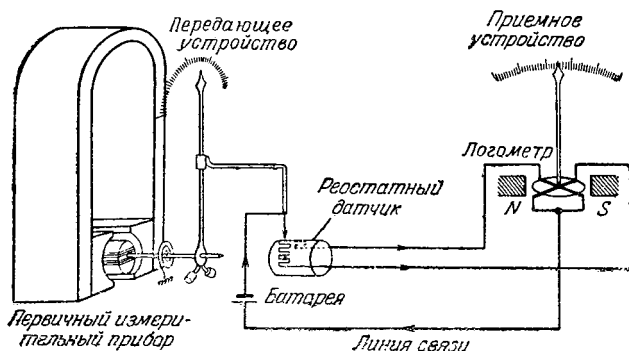


Рис. 112. Логометрическая схема телеизмерения с реостатным датчиком.

Второй недостаток схемы телеизмерения с реостатными датчиками заключается в необходимости поддержания постоянства напряжения питания. Этих недостатков можно избежать, если вместо обычного гальванометра применить логометр (рис. 112), т. е. гальванометр с двумя рамками вместо одной. Показания логометра зависят только от отношения токов в его рамках, а не от абсолютного значения тока. Поэтому, применив трёхпроводную линию связи, можно избавиться от влияния непостоянства напряжения источника тока. Кроме того, при замене обычного прибора логометром, исключаются также погрешности от изменения сопротивления или утечек линии связи.

Если подвижная система первичного (передающего) прибора имеет небольшой вращающий момент, то механическая связь её с реостатом создаёт настолько большую нагрузку, что показания будут искажены. Поэтому систе-



мы с реостатными датчиками получили распространение главным образом для передачи показаний сравнительно «грубых» приборов, развивающих большие вращающие моменты (манометры, расходомеры, уровнемеры и т. п.).

Для передачи значений переменного тока и напряжения можно вообще обойтись без первичных измерительных приборов, применив так называемую выпрямительную систему телеизмерения.

### Выпрямительные системы телеизмерения

В выпрямительной системе телеизмерения измеряемое напряжение понижается с помощью трансформатора, а затем преобразуется твёрдыми (купроксными или селено-

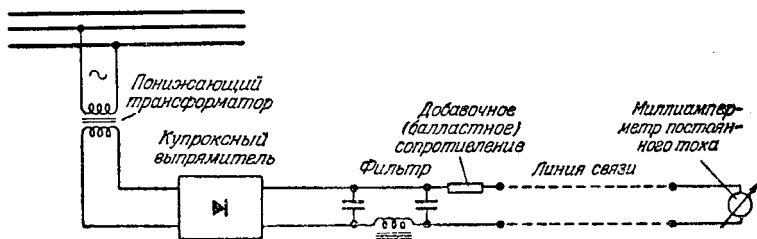


Рис. 113. Принципиальная схема выпрямительной системы телеизмерения.

выми) выпрямителями в постоянный ток. Фильтр, состоящий из катушки индуктивности и двух конденсаторов, сглаживает пульсации выпрямленного тока. Выпрямленный ток по двупроводной линии связи передаётся к миллиамперметру (рис. 113). Наибольшее значение тока в линии 3—4 ма. Эта система недостаточно стабильна, потому что твёрдые выпрямители с течением времени изменяют свои характеристики. Гораздо стабильнее телеизмерительные устройства с электронными выпрямителями.

Передача неэлектрических величин с помощью этих систем не может быть осуществлена. Выпрямительные системы с индукционными преобразователями являются более универсальными. С помощью их можно передавать на значительные расстояния (до 10—20 км) показания любых измерительных приборов. Первичная обмотка индукционного преобразователя (рис. 114) питается от сети

переменного тока через стабилизатор напряжения, и поэтому создаваемый ею магнитный поток приблизительно постоянен. Вторичная обмотка (рамка) пронизывается этим магнитным потоком и в ней индуцируется электродвижущая сила, величина которой зависит от положения рамки по отношению к магнитному потоку.

Ориентация рамки относительно магнитного потока в свою очередь зависит от угла поворота оси первичного

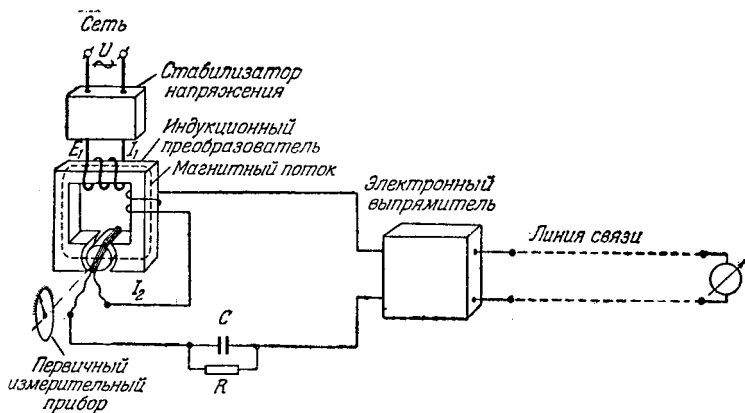


Рис. 114. Принципиальная схема индукционно-выпрямительной системы телеизмерения.

измерительного прибора. Если стрелка первичного измерительного прибора стоит на нуле, то плоскость рамки совмещается с направлением магнитного потока и индуцируемая в ней э. д. с. равняется нулю. Если же стрелка прибора переместится на крайнее деление шкалы, то плоскость рамки будет перпендикулярна к направлению магнитного потока (вертикальное положение рамки) и индуцируемая в ней электродвижущая сила будет наибольшей. В пределах от 0 до  $75^\circ$  э. д. с. рамки изменяется пропорционально углу поворота стрелки первичного измерительного прибора.

Теперь остаётся выпрямить полученное в рамке напряжение и передать его в линию связи к приёмному прибору. Эту функцию выполняет выпрямительное устройство. Выпрямитель, так же как и индукционный преобразователь, питается через стабилизатор напряжения; это даёт возможность избежать влияния изменения напряжения в сети

на точность показаний измерительного прибора. При прохождении тока по обмотке рамки индукционного преобразователя возникает взаимодействие между этим током и магнитным потоком, пронизывающим рамку. В результате создаётся момент, который стремится повернуть рамку.

Для исключения этого момента в цепь рамки включается фазосдвигающий контур  $R-C$ .

При помощи добавочной обмотки, включённой в цепь рамки, увеличивается рабочий угол поворота рамки.

Система телеизмерения с индукционными преобразователями даёт ток в линию порядка  $0,5-1,0$  ма (максимальное значение при полном отклонении стрелки первичного измерительного прибора). Она работает довольно точно, без больших погрешностей ( $\pm 2\%$ ).

Линия связи может быть кабельной или воздушной. При воздушной линии связи возможны обрывы линии. Прибор приёмного устройства при обрыве линии, конечно, покажет «нуль». Прибор будет показывать «нуль» и в случае, если линия не оборвана, но стрелка первичного измерителя сама стоит на нуле. Как же различить эти два нулевых показания, происходящих от двух совершенно различных причин?

Для того чтобы сигнализировать повреждение, по линии связи всё время циркулирует небольшой ток. Если линия не оборвана и нет других повреждений, то при показании первичного измерителя, равном нулю, ток будет вызывать небольшое отклонение стрелки приёмного телеизмерительного прибора. Этот контрольный ток в линии составляет  $5-7\%$  от номинального тока. Небольшое начальное отклонение стрелки прибора на приёмном пункте означает, что линия в исправности.

Рассмотренные системы телеизмерения принадлежат к классу так называемых небалансных систем. В них существуют погрешности, вызываемые изменением сопротивления линии связи, колебанием напряжения источников питания, от утечек тока в линии и от ряда других физических факторов.

Гораздо более точными являются системы телеизмерения, в которых имеются устройства для автоматического регулирования тока в линии связи. Это—так называемые балансные системы, в которых автоматически поддерживается заданная зависимость между измеряемой величиной и током в линии.

## Балансные системы с автоматическим регулированием тока в линии

Одна из балансных систем (рис. 115) основана на принципе уравнивания вращающих моментов. Передающее устройство состоит из первичного измерительного прибора, балансирующего элемента и регулятора тока.

По рамке магнитоэлектрического балансирующего элемента протекает ток линии связи. Направление этого тока

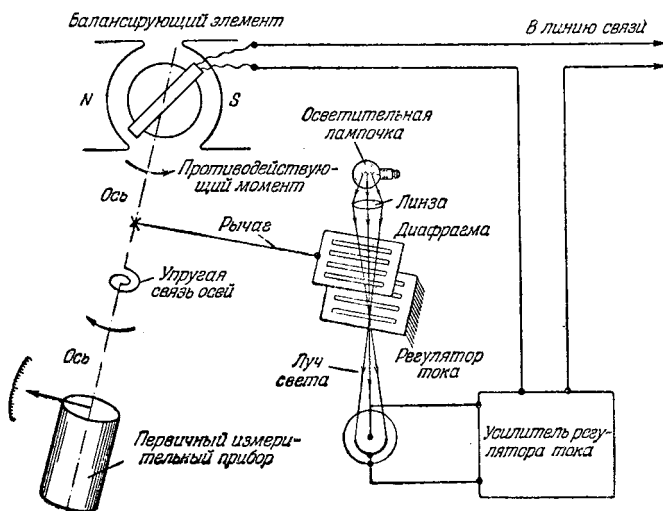


Рис. 115. Схема балансного токового телеизмерительного устройства.

выбирается таким, чтобы момент, создаваемый рамкой прибора, был направлен противоположно моменту первичного измерительного прибора.

Для того чтобы создавать на оси рычага момент, пропорциональный отклонениям стрелки, оси приборов механически связываются друг с другом при помощи пружины. Рычаг, укрепленный на оси балансирующего элемента, управляет регулятором тока. Ток на выходе усилителя регулятора изменяется пропорционально углу поворота рычага. Рычаг регулятора будет перемещаться, а ток в линии связи будет увеличиваться до тех пор, пока момент балансирующего элемента не сравняется с моментом пружины. Таким образом, при равен-

стве моментов наступает равновесие системы. Ток в линии поэтому автоматически поддерживается таким, которому соответствует строго определённое значение измеряемой величины.

При увеличении сопротивления линии связи ток уменьшается, а вместе с ним уменьшается и вращающий момент балансирующего элемента. Равенство моментов нарушается, и балансирующий элемент поворачивает ось на какой-то дополнительный угол. Этот поворот воздействует на регулятор тока, вследствие чего ток в линии вновь восстанавливается до уровня, соответствующего значению измеряемой величины. При уменьшении сопротивления линии связи, когда ток в линии увеличивается, регулятор автоматически его уменьшает.

Регулятор тока может быть электромеханическим или электронным.

В электромеханическом регуляторе рычаг замыкает контакты, включающие небольшой электродвигатель, перемещающий движок реостата в цепи рабочего тока. Движок перемещается до тех пор, пока не установится равенство моментов.

Электронные системы являются более совершенными. На рис. 115 приведена схема токо-балансного телеизмерительного устройства ВЭИ с фотоэлектронным регулятором тока. Ток в линии регулируется плавно путём изменения освещённости фотоэлемента.

Освещённость же фотоэлемента пропорциональна углу поворота лёгкой щелевой диафрагмы, укрепленной на рычаге регулятора тока. Диафрагма уменьшает или увеличивает световой поток, падающий от осветительной лампы на катод фотоэлемента. Пропорционально изменению светового потока плавно меняется и ток в линии связи. Рычаг с диафрагмой перемещается на очень небольшой угол, соответствующий ширине одной щели. На такой же небольшой угол перемещается и рамка балансирующего элемента.

Другой способ автоматического плавного регулирования тока в линии применён в телеизмерительной системе ЦЛЭМ Мосэнерго. На рычаге регулятора укреплен тонкий металлический лепесток. Этот лепесток, перемещаясь в горизонтальной плоскости, действует как электромагнитный экран, изменяющий коэффициент связи между сеточным и анодным контурами лампового генератора.

Изменение электромагнитной связи вызывает пропорциональное изменение тока в линии, который измеряется приёмным прибором.

Разработаны также балансные системы напряжения, основанные на применении автоматических потенциометров. В этих системах на передающем и на приёмном пунктах установлены самостоятельные источники тока, электродвижущие силы которых направлены навстречу друг другу. Основная идея потенциометрических устройств телеизмерения заключается в автоматическом уравнивании этих напряжений, в результате которого ток в линии должен равняться нулю. На передающей стороне применяется

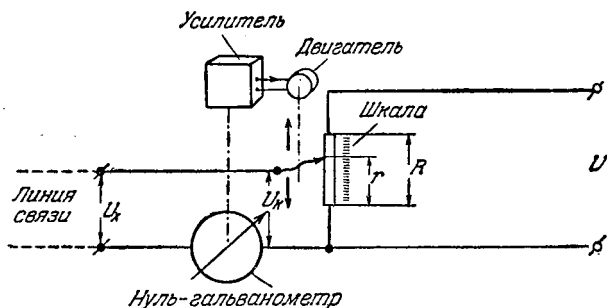


Рис. 116. Принцип действия потенциометрического приёмного устройства телеизмерительной балансной системы напряжения.

реостатный датчик, включённый по схеме потенциометра. Изменение сопротивления линии никак не может сказаться на точности измерений, так как по линии связи ток не протекает.

На рис. 116 изображена принципиальная схема потенциометрического приёмного устройства для измерения напряжения  $U_x$  путём уравнивания его известным напряжением  $U_k$ . Движок делителя напряжения  $R$  перемещается до исчезновения тока в нуль-гальванометре.

При этом измеряемое напряжение определяется по соотношению активных сопротивлений частей потенциометра из формулы

$$U_x = U_k = \frac{r}{R} U.$$

Как только гальванометр показывает наличие тока в линии, приходит в действие вспомогательный двигатель, который, как и в других автоматических потенциометрах, перемещает движок до тех пор, пока не будет достигнуто новое состояние равновесия. Вдоль делителя напряжения установлена шкала, а движок играет роль указателя.

Мощность этого устройства достаточна также и для регистрации телеизмеряемой величины посредством самопишущих устройств.

Современные телеуправляемые установки часто бывают отдалены от диспетчерского пункта на весьма большие расстояния. Однако при расстояниях свыше 10—20 км погрешность измерения возрастает настолько, что применение систем ближнего действия становится невозможным.

Телеизмерительные системы дальнего действия основаны на совершенно других физических принципах. В них длина линии связи не играет большой роли, и показания приборов могут передаваться на весьма большие расстояния с достаточной для практических целей точностью.

В одних системах телеизмерения дальнего действия используются импульсы постоянного тока, в других — переменный ток различной частоты. Но ни в одной из этих телеизмерительных систем изменение амплитуды импульсов или колебаний не играет такой роли, как в системах ближнего действия.

Погрешность систем телеизмерения дальнего действия практически не зависит от изменения параметров линии связи. Именно это обстоятельство и позволяет увеличивать расстояние, на которое передаются показания электроизмерительных приборов.

## 2) Число-импульсная система телеизмерения

Одной из старейших телеизмерительных систем дальнего действия является система, основанная на число-импульсном методе передачи показаний приборов. В этой системе каждому значению передаваемой величины соответствует то или иное число импульсов постоянного тока, передаваемых в линию связи.

Передача этих импульсов в линию связи может производиться либо при изменении измеряемой величины, либо регулярно через определённые промежутки времени.

В качестве примера на рис. 117 приведена простая число-импульсная система телеизмерения уровня жидкости в резервуаре.

В соответствии с изменением уровня меняется и положение поплавка. Когда поплавок поднимается, то трос поворачивает блок на некоторый угол. Угол его поворота пропорционален величине изменения уровня воды. Вместе с блоком поворачивается и импульсное зубчатое колесо. Каждый зуб колеса отклоняет контактный рычаг ДИ

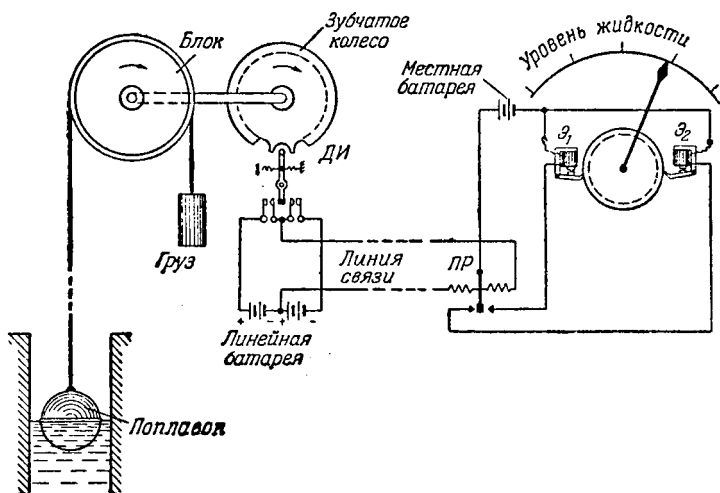


Рис. 117. Схема число-импульсного устройства для телеизмерения уровня жидкости:

ДИ—датчик импульсов, ПР—поляризованное реле, Э<sub>1</sub> и Э<sub>2</sub>—электромагниты прямого и обратного движений указателя.

от среднего положения, поворачивая его вокруг точки опоры. Отклоняясь вправо или влево, в зависимости от того, в какую сторону повернётся зубчатое колесо, контактный рычаг замыкает либо левый, либо правый контакт.

Если уровень в резервуаре повысится, то блок повернётся по часовой стрелке и контактный рычаг замкнёт правую пару контактов.

Так как один из проводов линии связи подключён к средней точке линейной батареи, то замыкание правой пары контактов вызывает посылку положительного импуль-



са тока. Через обмотку поляризованного реле  $\Pi P$  пройдет положительный импульс, и его контакты замкнут цепь местной электрической батареи на левый электромагнит  $\mathcal{E}_1$ .

Электромагнит притянет якорь, и собачка, укрепленная на его конце, передвинет храповик и указательную стрелку на одно деление вправо.

При понижении уровня контактный рычаг замкнет левые контакты, в линию будет послан отрицательный импульс тока и поляризованное реле включит электромагнит  $\mathcal{E}_2$  левого вращения. Стрелка указателя уровня воды переместится на одно деление влево. В приборе используются два храповика и дифференциал между ними.

Если уровень в резервуаре быстро изменится на значительную величину, то колесо пошлет в линию не один, а несколько импульсов тока, которые переместят стрелку на соответствующее число делений.

При изменениях сопротивления или утечки в линии связи величина (амплитуда) импульса изменится, но это не скажется на работе системы. Важно только, чтобы амплитуда импульса не упала ниже значения, при котором еще может сработать приемное устройство (реле  $\Pi P$ ).

Но число-импульсная система не свободна и от недостатков. В случае повреждения линии приемное устройство будет показывать один и тот же уровень. Если повреждение линии носит кратковременный, случайный характер, то один или несколько импульсов могут пропасть.

Так, например, бывает во время сильного ветра, когда раскачивающиеся неизолированные провода могут коснуться друг друга. Дальнейшие значения измеряемой величины будут воспроизводиться с ошибкой, соответствующей числу пропавших импульсов.

Такое же расхождение в показаниях прибора с действительным значением передаваемой величины будет и в том случае, когда происходит перерыв в работе устройства вследствие обрывов проводов, порчи батарей, загрязнения контактов или нарушения храповых сцеплений.

Эти недостатки телеизмерительного устройства устраняются в системах с периодической посылкой полной серии импульсов, соответствующей значению измеряемой величины.

Автоматически через равные промежутки времени с контролируемого объекта на диспетчерский пост посылаются серии электрических импульсов.

Если почему-либо один или несколько импульсов из передаваемой серии пропадёт, то в следующей серии импульсов ошибка будет скорректирована.

Для того чтобы ошибка при пропадании импульсов была небольшой, стараются увеличивать количество передаваемых импульсов.

Если, например, из сотни переданных импульсов пропадают один-два, то ошибка будет в десять раз меньше, нежели в том случае, когда передаётся всего десять импульсов. Увеличение числа импульсов необходимо также для повышения точности работы системы.

Однако при этом потребуется больше времени для передачи полной серии импульсов.

Дальнейшим развитием число-импульсного метода телеизмерений является кодо-импульсный метод. Он состоит в том, что в канал связи посылается комбинация импульсов, выражающая значение телеизмеряемой величины.

Кодо-импульсный метод по сравнению с число-импульсным даёт возможность сократить число передаваемых импульсов и повысить точность работы телеизмерительных устройств. Кодовые сигналы состоят из посылок тока различной полярности или длительности в определённых комбинациях.

### Время-импульсная система

Во время-импульсной системе телеизмерения измеряемой величине соответствует определённая продолжительность (импульса или паузы между двумя импульсами).

В линию связи периодически посылаются импульсы тока различной длительности, пропорциональной значению измеряемой величины. Если, например, стрелка первичного измерительного прибора отклонится на  $15^\circ$ , то продолжительность импульса будет равна одной секунде, при отклонении стрелки на  $30^\circ$  — двум секундам и т. д.

Отображение угла поворота стрелки измерительного прибора импульсами тока различной продолжительности может производиться при помощи весьма простого контактного приспособления (рис. 118).

На ось небольшого синхронного двигателя насаживается втулка из изолирующего материала, на которую надета металлическая трубка, разрезанная вдоль на две равные части. Между обеими половинами трубки находится слой

изоляции. К этой трубке, как к коллектору в электрических машинах, прикасаются две металлические (или графитовые) щётки. Одна из них закреплена неподвижно, а другая связана с осью первичного измерительного прибора и при отклонении стрелки перемещается по поверхности равномерно вращающегося коллектора.

В тот момент, когда металлическая пластина коллектора замыкает обе щётки, в линию связи посылается импульс тока. Продолжительность импульса зависит от рас-

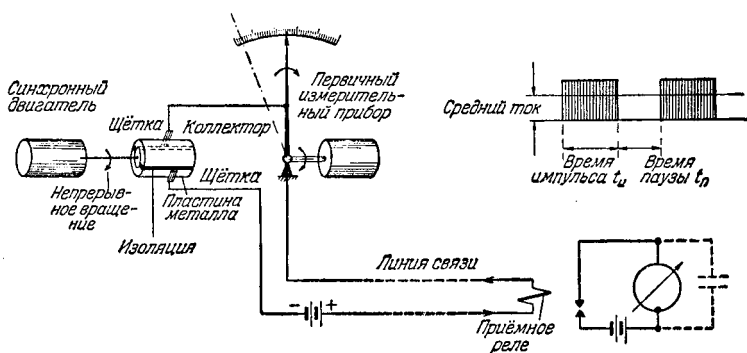


Рис. 118. Схема время-импульсной системы телеизмерения.

стояния между щётками. Чем это расстояние больше, тем импульс короче.

Когда щётки расходятся на угол около  $180^\circ$ , что может соответствовать нулевому отклонению стрелки первичного прибора, импульс вообще будет отсутствовать.

На приёмном пункте устанавливается чувствительное электромагнитное реле. От каждого импульса тока, поступившего из линии связи, реле срабатывает и замыкает цепь электрической батареи на измерительный прибор. Прибор измеряет среднее значение тока.

Для того чтобы работа приёмного прибора была устойчивой, продолжительность периода (импульс + пауза) должна быть не более нескольких десятых долей секунды. В противном случае стрелка прибора при каждом замыкании контактов реле будет резко отклоняться, и прочесть на шкале значение среднего тока окажется весьма затруднительным.

Чем короче период, тем устойчивее отклонения стрелки приёмного прибора. Поэтому, казалось бы, период можно

сделать сколь угодно малым, увеличив скорость вращения коллектора в передающем устройстве.

Однако это не так. При уменьшении периода большое влияние оказывают время срабатывания приёмного реле, а также и индуктивность линии связи (индуктивность замедляет нарастание тока в линии связи).

В результате затягивания импульса его форма будет значительно отличаться от прямоугольной (рис. 119), а это вызовет искажение передачи. Чем больше индуктив-

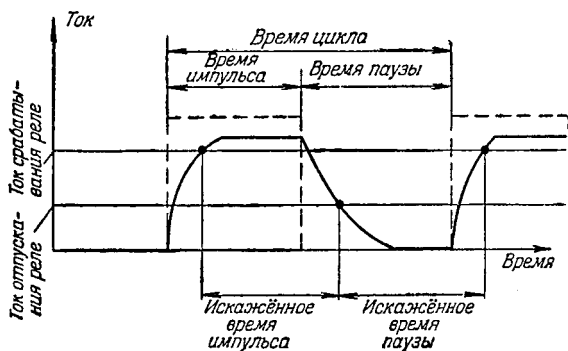


Рис. 119. Диаграмма тока в линии связи при передаче прямоугольных импульсов.

ность линии связи и приёмного реле, тем сильнее будет искажение формы импульса и тем больше будет погрешность телеизмерения.

Поэтому минимальная продолжительность импульса и паузы должна быть не менее нескольких десятых долей секунды. Это ограничение диктуется также наличием индуктивности обмотки электромагнитного реле.

В действительности схема приёмной части усложняется введением конденсаторов, которые периодически запасают и отдают энергию, заменой гальванометра логометром и т. д.

Для уменьшения погрешности в некоторых случаях отказываются от электрического приёмного устройства типа гальванометра или логометра, заменяя его измерителями коротких промежутков времени, например электросекундомерами. Так, например, устроен «Диспетчерский рапорт» МЭИ, который по линиям существующей телефонной связи по вызову диспетчера передаёт показания на стрелочные электросекундомеры.

## Частотно-импульсные системы телеизмерения

Частотно-импульсный метод передачи на расстояние показаний приборов основан на том, что по проводам или по радио посылаются импульсы тока, частота которых зависит от значения измеряемой величины, а амплитуда передаваемых импульсов на показания приёмных приборов не влияет.

Рассмотрим способ преобразования значений измеряемой величины в пропорциональную частоту импульсов тока, в котором используется механизм электросчётчика.

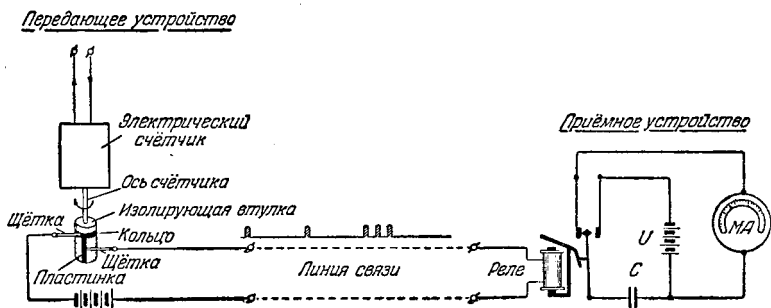


Рис. 120. Частотно-импульсная система телеизмерения с механическим прерывателем.

Счётчик электроэнергии имеет две катушки, создающие магнитные потоки, необходимые для работы счётного механизма. Одна катушка счётчика обтекается измеряемым током, а другая находится под напряжением сети. Под влиянием двух магнитных потоков подвижная система счётчика приходит во вращение. Чем больше расходуется электроэнергии, тем с большей скоростью вращается диск счётчика.

Счётчик электроэнергии можно легко переделать в передатчик сигналов телеизмерения по частотно-импульсному методу (рис. 120). На ось счётчика насаживается небольшая цилиндрическая втулка из изолирующего материала с металлическими пластинкой и кольцом.

Цилиндрическая втулка с кольцом, пластинкой и щётками является прерывателем тока электрической батареи. За каждый оборот оси счётчика в линию посылается один импульс тока. Посылка импульса происходит в тот момент,

когда нижняя щётка касается металлической пластинки прерывателя. По окружности втулки можно расположить и несколько контактных пластин. В зависимости от числа оборотов счётчика импульсы в линию посылаются с различной частотой.

При помощи такого устройства можно непосредственно передавать значения мощности. Однако, пользуясь электрическими датчиками, через катушки счётчика можно пропускать ток, пропорциональный значениям любой измеряемой величины. На другом конце линии нужно установить измеритель частоты импульсов, по показаниям которого можно будет судить об измеряемой величине. В качестве таких приборов применяются либо измерители среднего тока с реле, местным источником тока, конденсатором и миллиамперметром, либо электронные частотомеры.

По схеме рис. 120 на конце линии телеизмерения находится электромагнитное, быстродействующее реле. Время срабатывания этого реле должно быть меньше продолжительности одного электрического импульса, передаваемого по линии телеизмерения. При поступлении импульсов реле переключает контакты электрической цепи с конденсатором.

Когда реле находится в рабочем состоянии, контакты подключают конденсатор к электрической батарее и заряжают его. Когда же реле отпустит якорь, то замкнутся контакты, соединяющие конденсатор с миллиамперметром. При каждом отпуске якоря реле конденсатор будет пропускать через миллиамперметр количество электричества

$$q = CU,$$

где  $C$ —ёмкость конденсатора, а  $U$ —напряжение, до которого заряжается конденсатор.

Если частота импульсов равна  $n$ , то в одну секунду через миллиамперметр пройдёт количество электричества

$$Q = nq = nCU.$$

Средняя сила тока  $I_{\text{ср}}$ , которую покажет прибор, будет пропорциональна этой величине:

$$I = K \cdot n \cdot CU,$$

где  $K$ —коэффициент пропорциональности.

Ёмкость конденсатора  $C$  и напряжение батареи  $U$  — величины постоянные. Следовательно, средний ток  $I$  будет зависеть только от частоты импульсов  $n$ :

$$I = f(n).$$

Сила тока  $I$  будет также пропорциональна значению измеряемой величины, и поэтому на шкале миллиампер-

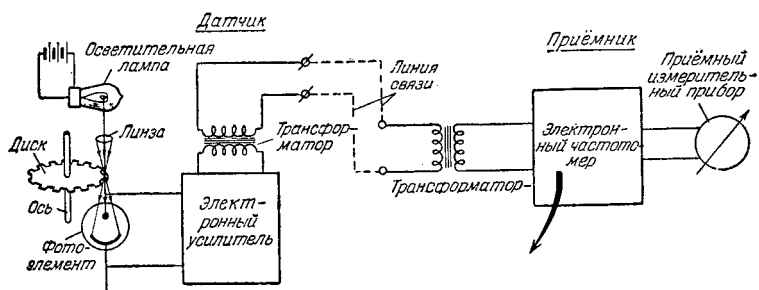


Схема электронного частотомера

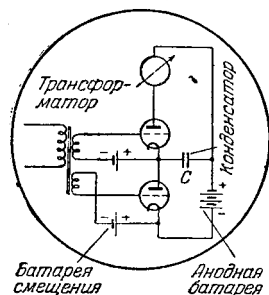


Рис. 121. Частотно-импульсная фотоэлектронная система телеизмерения. (Внизу приведена схема электронного частотомера.)

метра можно прямо нанести значения этой величины.

На рис. 121 изображена фотоэлектронная частотно-импульсная система телеизмерения, разработанная заводом «Электроприбор».

Первичным измерительным прибором и датчиком в этой системе также является счётчик электрической энергии. По краю диска счётчика равномерно вырезаны зубцы. Над диском помещён источник света. Световой поток при помощи несложного оптического устройства фокусируется в плоскости диска счётчика, под которым помещён

фотоэлемент. При вращении диска луч света прерывается его зубцами. Фотоэлемент будет находиться под воздействием пульсирующего света, частота пульсации которого зависит от числа зубцов диска и от скорости его вращения. Так как скорость вращения зубчатого диска пропорциональна измеряемой величине (мощности, току или напряжению), то и частота пульсирующего света также будет ей пропорциональна.

Применённый здесь световой коммутатор имеет большое преимущество перед механическими контактными системами. Вредные механические сопротивления от трения щёток о коллектор отсутствуют.

Пульсирующий фототок при помощи электронных ламп усиливается и подаётся через трансформатор по линии связи к приёмному устройству.

Приёмник телемеханического устройства представляет собой электронный частотомер. Его действие, так же как и действие электромеханического измерителя частоты, основано на использовании электрического конденсатора, с той лишь разницей, что вместо электромагнитного реле с переключающимися контактами в этой схеме применены электронные лампы.

Импульсы тока из линии телеизмерения поступают в трансформатор с двумя вторичными обмотками, каждая из которых соединена с сеткой электронной лампы.

Трансформатор преобразует импульсы тока в переменный ток. Когда положительная полуволна напряжения отпрёт нижнюю лампу, то последняя зарядит электрический конденсатор до напряжения анодной батареи.

Следующая полуволна запирает нижнюю лампу и отпирает верхнюю, в анодную цепь которой включён электроизмерительный прибор. Конденсатор разряжается через этот прибор, заранее отградуированный на измеряемую величину.

Применение практически безинерционных электронных ламп и фотоэлемента даёт возможность пользоваться более высокой частотой импульсов, передаваемых по линии телеизмерения. А это очень важно, так как высокая частота импульсов обеспечивает быстроедействие системы.

На приёмной стороне можно установить несколько приборов, указывающих в различных помещениях значения одной и той же величины. Для этого рамки электроизмерительных приборов должны быть соединены после-



довательно, причём благодаря тому, что в схеме применена электронная лампа, имеющая большое внутреннее сопротивление (несколько тысяч ом), сопротивление самих приборов можно не учитывать. Это обстоятельство позволяет наряду с указывающими приборами включать и самопишущие. При желании получить большие токи вместо электронных ламп можно применить также и тиратроны. В этом случае может быть обеспечено не только включение самопишущих приборов, но и включение всевозможных автоматов, управляющих работой машин.

### Частотные системы телеизмерения

В 1950 году в СССР была разработана новая система телеизмерения, основанная на изменении частоты пере-

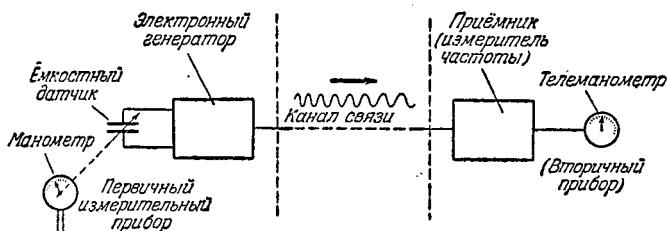


Рис. 122. Схема частотной телеизмерительной системы ОРГРЭС.

менного тока в зависимости от значений телеизмеряемой величины (рис. 122).

На ось измерительного прибора, показания которого необходимо передать на расстояние, насажен ротор (подвижная часть) конденсатора переменной ёмкости, состоящий из нескольких металлических пластинок.

Конденсатор преобразует угловые перемещения стрелки измерительного прибора в соответствующие им изменения ёмкости. Изменение ёмкости конденсатора в свою очередь вызывает изменение частоты колебаний, создаваемых электронным генератором. На рис. 122 этот конденсатор назван ёмкостным датчиком.

Генератор вырабатывает переменный ток звуковой частоты в пределах от 3500 до 5000 периодов в секунду. Этот ток передаётся по любому каналу связи в центральный диспетчерский пункт.

В диспетчерском пункте установлены электронные измерители частоты, преобразующие передаваемую величину в угловое перемещение стрелки вторичного измерительного прибора.

На рис. 122 показана схема передачи на расстояние давления пара в паровом котле теплоэлектростанции.

В СССР была также разработана другая частотная система телеизмерения. Изменение частоты колебаний ге-

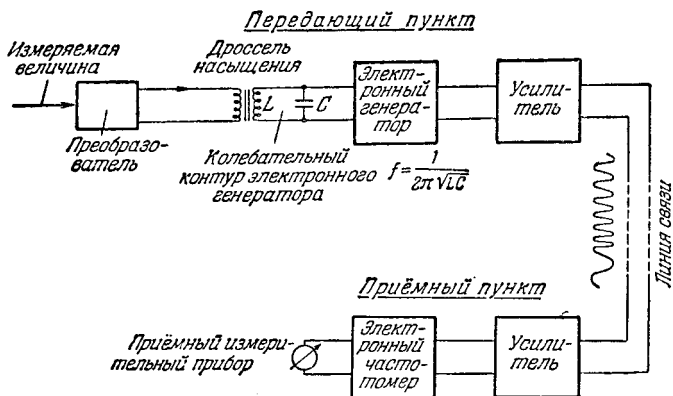


Рис. 123. Схема частотной телеизмерительной системы ЦНИЭЛ.

нератора в ней производится изменением не ёмкости электрического конденсатора, а изменением индуктивности.

В этой схеме (рис. 123) применён так называемый дроссель насыщения, включённый в качестве индуктивности в колебательный контур генератора.

Телеизмеряемая величина преобразуется в то или иное значение постоянного тока (как в системах ближнего действия). Этот ток поступает в одну из обмоток дросселя насыщения и подмагничивает его. Вследствие этого изменяется магнитная проницаемость железного сердечника дросселя. При увеличении тока подмагничивания магнитная проницаемость сердечника падает. Это вызывает уменьшение индуктивности  $L$  дросселя и, следовательно, увеличение частоты  $f$  колебаний электронного генератора.

Это следует из формулы

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Важнейшим и ценным отличием этой системы является замена механического воздействия на контур электронного генератора воздействием электрическим. Это позволяет исключить промежуточные стрелочные измерительные приборы и непосредственно пользоваться токами электрических датчиков: давления, напряжения, тока, мощности, скорости и т. д.

Для систем телеизмерения дальнего действия можно не прокладывать специальных проводов. Показания измерительных приборов передаются на расстояние по любым имеющимся действующим проводам: телефонным, телеграфным и даже по проводам высоковольтной линии электропередачи.

Благодаря электрическим фильтрам телефонный разговор абонентов не мешает телеизмерениям, а телеизмерение не сказывается на телефонной или на телеграфной передаче.

Телеизмерительные приборы и телефонные аппараты могут действовать по одному и тому же каналу связи.

## Г л а в а X I

### ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЕ И ТЕЛЕСИГНАЛИЗАЦИЯ

С диспетчерского пункта по медным жилам кабелей к автоматической подстанции идут команды управления, а обратно—на диспетчерский пункт—направляются ответные сигналы. На щите управления вспыхивают сигнальные лампочки, загораются и гаснут светящиеся линии мнемонической схемы. По этим сигналам диспетчер, управляющий работой автоматизированных станций или подстанций, отчётливо видит, в каком положении находятся контакты высоковольтных выключателей, какие линии включены и снабжают энергией потребителей, а какие отключены и не работают.

### Местное управление

При местном управлении по проводам передаётся вся энергия, необходимая для питания электродвигателей, нагревательных или осветительных приборов и других исполнительных устройств.

Если управление производится из одного пункта, то к нему идут провода от всех исполнительных устройств.

Местное управление ведётся с распределительного щита. Распределительные щиты устраиваются в цехах заводов и фабрик, на электростанциях и на многих других предприятиях. Обычно у распределительного щита достаточно находиться только одному человеку. Так, например, управление освещением сцены, подъёмом и опусканием занавеса в больших театрах производится с распределительного щита одним человеком.

Чем дальше от распределительного щита расположены исполнительные устройства и чем, следовательно, длиннее соединительные провода, тем больше в них будет теряться энергии на преодоление сопротивления. На пути от распределительного щита до исполнительных устройств часть энергии будет превращаться в бесполезное тепло и рассеиваться в окружающем пространстве<sup>1)</sup>.

Многие, вероятно, замечали, что чем дальше расположены лампочки от источника тока, тем тусклее они светят. Это происходит вследствие падения напряжения в проводах осветительной сети. Чем длиннее провода и больше нагрузка (ток), тем больше падение напряжения в линии. Правда, при передаче энергии на большое расстояние, чтобы уменьшить электрическое сопротивление и избежать больших потерь, можно было бы применить более толстые провода. Однако провода большого поперечного сечения стоят довольно дорого и применять их для управления агрегатами на больших расстояниях невыгодно.

Местное управление применяется только на небольших расстояниях: в пределах одного здания, фабрики, завода.

На расстояниях свыше 50 м местное управление невыгодно и заменяется дистанционным управлением или телеуправлением.

---

<sup>1)</sup> Потеря энергии при передаче её по проводам пропорциональна квадрату силы тока и сопротивлению проводника, по которому идёт ток. Электроэнергия, превращённая в теплоту, численно равна  $Q=0,24I^2Rt$  кал; здесь  $Q$ —количество теплоты в малых калориях,  $I$ —сила тока в амперах,  $R$ —сопротивление проводника в омах,  $t$ —время прохождения тока по проводнику в секундах.

## Дистанционное управление

Дистанционное управление основано на применении электромагнитных реле. Посредством реле можно на расстоянии управлять включением и отключением исполнительных устройств любой мощности.

Если мощность устройств, управляемых электромагнитными реле, невелика (порядка десятков ватт), то слаботочное, например обычное кодовое, реле прекрасно справляется с этой задачей. Контакты кодового реле при такой нагрузке не искрят и не обгорают.

Если же мощность управляемых на расстоянии исполнительных устройств измеряется сотнями и тысячами ватт, то контакты слаботочных реле не могут выдержать такой большой нагрузки и расплавляются. В этом случае между управляемым на расстоянии слаботочным реле и включаемым им мощным исполнительным устройством (электродвигателем) необходимо включить промежуточное реле с усиленной контактной системой.

При значительной мощности электродвигателя, управляемого на расстоянии, катушки магнитного пускателя потребляют довольно большой ток. В этом случае между слаботочным реле и электромагнитом, управляющим включением или отключением контактов магнитного пускателя, также приходится устанавливать соответствующее промежуточное реле.

Нажатием кнопки на пульте управления замыкается электрическая цепь питания катушки слаботочного реле, которое срабатывает и своими контактами включает обмотку промежуточного реле. Промежуточное реле контактами, рассчитанными на значительную мощность, включает в свою очередь магнитный пускатель, замыкающий цепь питания электродвигателя.

Ток, питающий обмотки катушек реле, весьма незначителен по сравнению с током, необходимым для питания мощных электрических агрегатов, поэтому провода линии управления могут быть небольшой толщины и при больших расстояниях. Потери энергии в них при этом будут невелики. Таким образом, применение электромагнитных реле для управления на расстоянии позволяет значительно уменьшать толщину проводов линии.

В самом деле, потребление мощности слаботочной релейной аппаратурой колеблется в пределах от тысячных долей

ватта до 2,5 вт. Исходя из необходимой механической прочности, соединительные провода управления обычно приходится делать не тоньше 4—5 мм диаметром. Падение напряжения в проводах такой толщины будет сравнительно небольшим.

Рассмотрим пример дистанционного управления высоковольтным выключателем на электрической подстанции.

В простейшем случае линия связи между пунктом управления и управляемым объектом состоит из пяти проводов (рис. 124). Два провода используются для передачи команд



Рис. 124. Многопроводная схема дистанционного управления и сигнализации.

«включить» и «отключить», другие два—для передачи обратных сигналов с подстанции на пункт управления: «включено» и «отключено». Кроме того, имеется пятый общий провод.

Как видно из схемы, при повороте диспетчером ключа управления в положение «включить» ток пойдёт от линейной электрической батареи по проводам 1 и 5 линии связи в реле включения. Реле тотчас же срабатывает и замыкает цепь пуска в ход электропривода высоковольтного выключателя<sup>1)</sup>. Посредством системы тяг и рычагов электропривод воздействует на контактные органы высоковольтного выключателя. Мощные контакты высоковольтного выключателя с силой прижимаются друг к другу. Линия электропередачи при этом включает-

<sup>1)</sup> Выключатели с ручным приводом в настоящее время встречаются редко. Обычно они приводятся в действие электрическим двигателем, питаемым от местного источника энергии (сеть переменного тока, аккумуляторная батарея и т. д.).

ся, и потребители получают по этой линии электроэнергию. Кроме силовых контактов, на подвижных частях высоковольтного выключателя находятся ещё и другие, маломощные контакты, называемые блок-контактами.

Всего имеется два блок-контакта. При включении линии один блок-контакт разрывает цепь реле включения и замыкает цепь соленоида отключения. Благодаря этому блок-контакту схема управления готовится к приёму следующей команды: «отключить». Другой блок-контакт переключает сигнализационные цепи.

О том, что команда выполнена и линия включена, диспетчер узнает по загоревшейся на щите сигнальной электрической лампочке. Сигнальная же лампочка с надписью «отключено» при этом погаснет.

Эта простейшая схема управления и сигнализации на расстоянии требует для каждого управляемого объекта (в данном случае высоковольтного выключателя) пяти проводов. Если на подстанции находятся не один, а три выключателя, соответственно включающих или отключающих три линии потребителей (три фидера), то потребуется 12 проводов для управления и сигнализации и один общий провод для цепи линейной батареи.

Чем больше число управляемых объектов, тем больше нужно проводов линии связи для дистанционного управления выключателями и для сигнализации.

На сравнительно небольших расстояниях, порядка нескольких сот метров, даже в том случае, когда управляемых объектов установлено много, дистанционное управление вполне допустимо. Однако чем дальше отстоят объекты от пункта управления, тем всё более дорогостоящими будут провода линии связи. Возникает вопрос: нельзя ли уменьшить число проводов? Нельзя ли, используя небольшое число проводов, управлять большим количеством объектов? Эту важную задачу удалось разрешить с помощью телемеханики.

### **Устройства телеуправления с индивидуальными соединительными проводами**

Одной из основных задач телемеханики является сокращение числа проводов, необходимых для управления объектами на расстоянии и для передачи обратных сигналов от управляемых объектов на диспетчерский пункт.

Переход от дистанционного управления к телеуправлению может быть достигнут различными способами.

В схеме управления, основанной на применении поляризованных реле (рис. 125), линия связи состоит всего из трёх проводов. По одному проводу передаются импульсы управления, по другому—импульсы сигнализации. Третий провод—общий, соединяющий средние

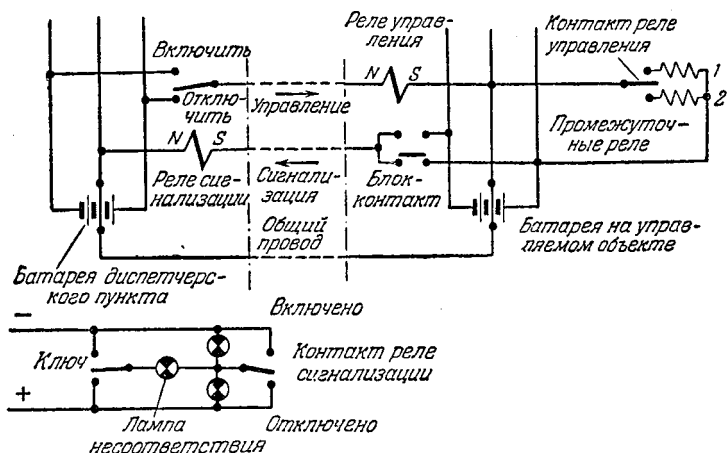


Рис. 125. Схема телеуправления и телесигнализации с применением поляризованных реле.

точки электрических батарей, из которых одна установлена на диспетчерском пункте, а другая—на управляемом объекте.

Поляризованное реле благодаря тому, что якорь его может принимать различные положения в зависимости от направления тока, позволяет сократить число проводов в два раза. Именно благодаря качественно отличающимся посылкам тока поляризованные реле позволяют осуществить передачу по одному проводу двух импульсов управления: «включить» и «отключить». При передаче, например, команды «включить» посылается положительный импульс тока. Команда «отключить» выполняется при посылке в линию отрицательного импульса.

Поляризованное реле при токе одного направления своим контактом замыкает цепь питания промежуточного, более мощного реле 1 включения. При токе другого



направления (импульс другой полярности) контакт поляризованного реле управления переключается и замыкает цепь питания отключающего реле 2. Когда в линию ток не посылается, контакт поляризованного реле находится в среднем положении (положение покоя), вследствие чего ток линейной батареи не расходуется.

Сигнализация положения контактных органов «включено» и «отключено» осуществляется по второму проводу.

На диспетчерском пункте также находятся поляризованные реле, контакты которых включают сигнальные лампочки. Посылка тока различной полярности в сигнальные реле осуществляется блок-контактами объекта управления.

Сигнальная лампочка «включено» будет гореть, когда блок-контакт высоковольтного выключателя замкнёт цепь питания реле сигнализации, например на положительный полюс батареи. При отключении сигнализационный провод присоединяется к отрицательному проводу батареи и поляризованное реле замыкает своими контактами цепь питания лампочки «отключено».

Как и в предыдущей схеме, блок-контакт механически связан с контактными органами высоковольтного выключателя и точно фиксирует их положение.

Правильность операций диспетчер может контролировать при помощи лампочки несоответствия, которая горит только в том случае, когда положения ключа управления и контакта реле сигнализации согласованы. Это показано на рис. 125 внизу.

Как мы видели, поляризованные реле позволяют сэкономить два провода для каждого объекта телеуправления. На первый взгляд, такая экономия может показаться незначительной. Однако провода линии связи стоят очень дорого и каждый сэкономленный провод даёт огромную выгоду.

Достаточно сказать, что затрата меди только на один провод линии связи длиной в 10 км в среднем составляет около одной тонны. Таким образом, при линии телесвязи длиной в 10 км, применив поляризованные реле, удастся сэкономить три тонны меди.

Для сокращения числа проводов управления и сигнализации можно использовать посылку импульсов тока и одного направления, но различной амплитуды. Результаты будут одинаковы: в обоих этих случаях число

проводов сократится вдвое по сравнению с дистанционным управлением. В этой системе управление осуществляется бóльшим током, нежели сигнализация.

При нейтральном положении ключей управления (рис. 126) по одному из проводов протекает контрольный ток небольшой силы.

Реле управления и реле сигнализации имеют различную чувствительность, т. е. срабатывают от тока разной силы. Контрольный ток, протекающий по обмоткам обоих реле, вполне достаточен для срабатывания реле сигнала-

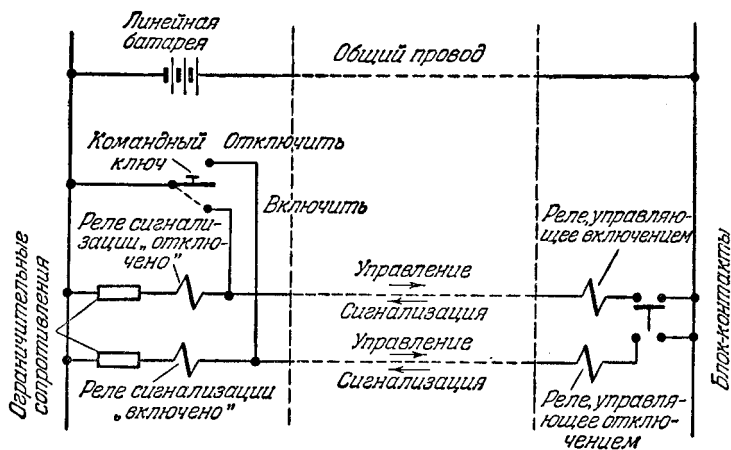


Рис. 126. Принципиальная схема телеуправления и телесигнализации с амплитудным выбором.

лизации и совершенно недостаточен для того, чтобы возбудить реле управления. В результате контакты сигнальных реле замкнуты—горят соответствующие контрольные лампочки, а контакты реле управления находятся в разомкнутом состоянии. Как видно из схемы, последовательно с обмотками реле включено дополнительное активное сопротивление, ограничивающее силу контрольного тока в цепи.

Если, например, нужно передать команду телеуправления «включить», то ключ переводится в нижнее положение. При этом в реле, управляющее включением, посылается ток, усиленный в 2,5—3 раза по сравнению с контрольным током, и оно срабатывает.

Усиление тока при замыкании верхнего контакта произошло благодаря шунтированию сигнального реле и ограничивающего сопротивления. Из схемы видно, что ток, идущий в реле управления, минуя обмотку сигнального реле, подключая реле управления непосредственно к источнику питания.

После кратковременного нажатия ключ управления переводится в нейтральное положение.

Так как после срабатывания объекта управления его блок-контакты замкнули другой (нижний) провод, то по нему начинает циркулировать контрольный ток. При этом срабатывает другое сигнальное реле и вспыхивает сигнальная лампочка «включено».

Подобным же образом осуществляется и передача команды «отключить».

Эта схема телеуправления и телесигнализации дешевле и проще схемы с полярным выбором, так как в ней применены более простые по сравнению с поляризованными электромагнитные нейтральные реле.

При рассмотрении этих схем возникает вопрос: нельзя ли ещё более сократить число проводов, используя для целей управления и сигнализации одновременно два качества тока: различную полярность и разную амплитуду импульсов?

Совмещение этих двух качеств тока достигнуто, например, в схеме телеуправления и телесигнализации, разработанной Институтом автоматики и телемеханики Академии наук СССР (рис. 127). В этой схеме по одному проводу передаются как команды телеуправления, так и обратные сигналы.

Команда «включить» передаётся положительным импульсом, «отключить» — отрицательным. Цепи управления и сигнализации в этой системе питаются переменным током через твёрдые (купроксные или селеновые) выпрямители. Поэтому положительные и отрицательные импульсы имеют форму полуволн переменного тока.

Вместо поляризованных реле в этой схеме применены нейтральные электромагнитные реле. Эти реле, как и в системе с амплитудным выбором, имеют различную чувствительность. Реле управления менее чувствительны, чем реле сигнализации, и при нейтральном положении ключа управления через них идёт слабый контрольный ток. При шунтировании реле сигнализации ток через реле

управления усиливается и они срабатывают, производя соответствующие действия в исполнительных цепях.

Блок-контакты на управляемом объекте при этом переключаются, изменяя направление контрольного тока в соединительном проводе, в результате чего на пункте управления срабатывает реле сигнализации нового положения. Своими контактами реле сигнализации включает сигнальную лампу, соответствующую новому положению управляемого объекта.

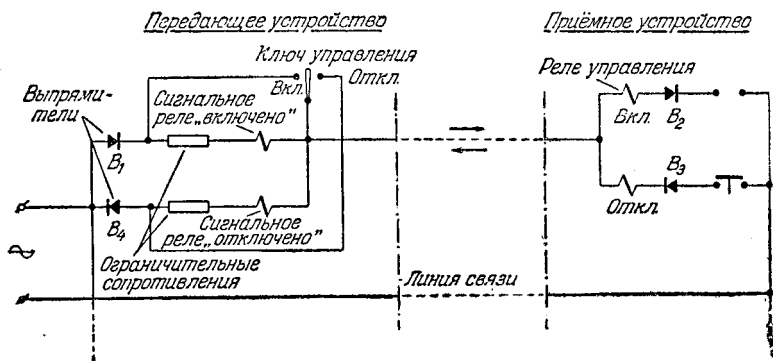


Рис. 127. Схема телеуправления с полярно-амплитудным выбором.

Следует подчеркнуть, что управляемым объектом может быть не только высоковольтный выключатель, применяемый в энергетических системах. Управлять на расстоянии можно включением электродвигателей, приводящих в движение задвижки и вентили нефтепроводов, газопроводов, тепловых и водопроводных сетей и др.

Рассмотренные схемы телеуправления и телесигнализации относятся к устройствам с индивидуальными соединительными проводами. На каждый объект управления в этих схемах полагается по четыре (дистанционное управление), по два (системы с полярным или амплитудным выбором) или одному (система с полярно-амплитудным выбором) проводу.

Каждый провод (или группа проводов) в этих схемах телеуправления закреплён за определённым объектом.

Цепи управления и сигнализации данным объектом совершенно не зависят от цепей других объектов. Поэтому можно управлять одновременно несколькими объектами.

Это является, конечно, большим достоинством рассмотренных выше систем телеуправления и телесигнализации.

Однако этой особенностью можно было бы пожертвовать, если бы удалось по двум проводам управлять не двумя, а, скажем, четырьмя объектами, а по трём—не тремя объектами, а восемью и т. д.

Случай, когда требуется одновременное управление несколькими объектами, весьма редки, а сокращение числа соединительных проводов настолько важно, что можно отказаться от проводов, индивидуально закреплённых за каждым объектом, используя все провода линии связи для управления любым из объектов.

Наиболее интересными устройствами телеуправления, позволяющими за счёт отказа от индивидуального закрепления проводов линии связи за определёнными объектами ещё более сократить число проводов, являются комбинационные устройства.

### Комбинационные (кодовые) устройства телеуправления

Если по проводам линии связи передавать импульсы тока различной полярности в разных комбинациях, то можно управлять гораздо большим числом объектов,

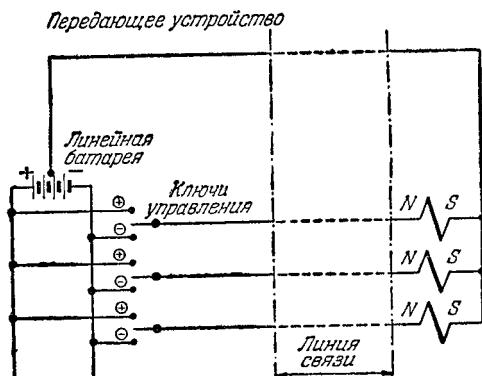


Рис. 128. Схема телеуправления по комбинационному методу.

нежели в том случае, когда за каждым объектом закреплён один или несколько проводов.

Возьмём трёхпроводную линию связи (рис. 128). По этой линии можно передать восемь различных комбинаций

импульсов тока (см. таблицу). Так, например, одновременно по всем трём проводам можно передать положительные импульсы. Это — одна комбинация. Если по двум проводам передать положительные посылки тока, а по третьему — отрицательную, это будет другая комбинация. Комбинаций может быть столько же, сколько качеств тока, возведённых в степень, показатель которой равен числу проводов.

Таблица всех возможных комбинаций импульсов тока различной полярности при трёх проводах

Команды телеуправления	Комбинации импульсов в проводах управления		
1	+	+	+
2	+	+	-
3	+	-	-
4	-	-	-
5	-	-	+
6	-	+	+
7	+	-	+
8	-	+	-

При двух качествах тока (плюс и минус) и числе проводов, равном трём, количество комбинаций будет:

$$2^3 = 8.$$

При четырёх проводах число комбинаций удваивается:

$$2^4 = 16.$$

При пяти—опять удваивается

$$2^5 = 32 \text{ и т. д.}$$

Таким образом мы видим, что, увеличивая число проводов, мы получаем всё возрастающую относительную экономию в количестве проводов при значительном увеличении числа команд телеуправления.

Если мы вспомним рассмотренные выше схемы с индивидуальными соединительными проводами, то можем легко убедиться, насколько целесообразнее при большом числе управляемых объектов применять комбинационные устройства.

Возьмём простой пример. Пусть нам нужно управлять на расстоянии водонасосной станцией, на которой установлено 16 насосов (16 объектов управления).

Для управления этими объектами при использовании наиболее совершенной схемы с индивидуальными соединительными проводами—схемы ИАТ АН СССР потребовалось бы 16 проводов.

Комбинационная же схема даёт возможность обойтись всего лишь одиннадцатью проводами. Из них пять ( $2^5 = 32$ ) позволяет осуществить 16 команд «включить» и 16— «отключить». Для обратной сигнализации на пункт управления потребуется ещё 5 проводов ( $2^5 = 32$ ). Таким образом, комбинационное устройство позволяет сократить число соединительных проводов в 1,4 раза ( $\frac{16}{11} \approx 1,4$ ) по сравнению с устройством, основанным на принципе полярно-амплитудного выбора.

В данной схеме одиннадцатый провод—общий, обратный.

В комбинационных схемах телеуправления с добавлением каждого провода число комбинаций удваивается и их возрастание по мере увеличения числа проводов идёт очень быстро.

Если при пяти соединительных проводах можно было получить 32 комбинации, то при восьми—уже 256, а при десяти проводах—1024.

Ясно, что чем большее число объектов управления сосредоточено в одном пункте, тем всё более и более выгодными получаются комбинационные устройства.

Практически различные комбинации посылки импульсов тока осуществляются посредством особых устройств, называемых ш и ф р а т о р а м и. Шифраторы устанавливаются на пункте управления. Приёмные устройства телеуправления носят название д е ш и ф р а т о р о в.

Они расшифровывают полученные комбинации импульсов тока и включают соответствующие индивидуальные реле, которые управляют исполнительными цепями.

При небольшом числе соединительных проводов (небольшое число управляемых объектов порядка четырёх-пяти) шифратор представляет собой многоконтактный ключ. Поворотом головки ключа (или нажатием кнопки) осуществляются замыкание соответствующих контактных пластин, присоединённых к положительным и отри-

цательным полюсам электрической батареи, и посылка импульсов различной полярности в линию связи.

В том случае, если проводов много и многоконтактный ключ получается громоздким, шифратор выполняется в виде одного или нескольких параллельно соединённых электромагнитных реле. Эти реле, называемые наборными, включаются одноконтактной кнопкой. Срабатывая, они притягивают свои якоря и производят замы-

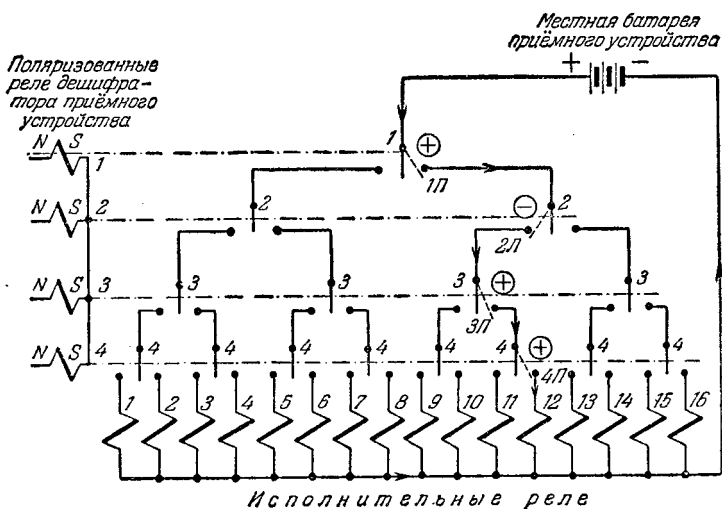


Рис. 129. «Контактная пирамида» для избирания исполнительных цепей.

кание контактных пластин в соответствующих комбинациях, т. е. осуществляют набор импульсов.

Дешифратор, как мы уже на это указывали, производит расшифровку посланной комбинации. Он представляет собой группу электромагнитных поляризованных реле, которые в зависимости от направления тока переключают свои контакты влево или вправо. Контакты соединены последовательно и включают соответствующие исполнительные реле.

Принципиальная схема дешифратора, в которой контакты реле включены «пирамидой», показана на рис. 129. Каждое последующее реле в этой схеме, если смотреть сверху вниз, имеет вдвое большее число контактов, чем предыдущее. Первое реле имеет один переключающий кон-



такт, второе—два, третье—четыре, а четвертое—восемь контактов.

Посмотрим, как работает эта схема. Когда все реле обесточены, контактные пластинки всех реле находятся в нейтральном положении, т. е. никаких контактов не замыкают.

Все электрические цепи исполнительных реле при этом разомкнуты и ток по ним не проходит.

Но вот нажатием кнопки на пульте управления включается наборное реле. Якорь реле притянется к сердечнику, переключит свои контакты и пошлёт в линию комбинацию импульсов.

Пусть эта комбинация будет:  $+ - + +$ . В дешифраторе работают реле 1, 2, 3 и 4. Реле 2 замкнёт левые контакты, а реле 1, 3 и 4—правые. Образуется цепь тока: плюс батареи, контакты реле 1И и 2Л, затем контакты реле 3П и 4П, потом обмотка исполнительного реле 12 и минус батареи. В результате работает двенадцатое исполнительное реле.

По схеме рис. 129 легко проследить за образованием исполнительных цепей в дешифраторной схеме и при других комбинациях посылок тока. Так как число контактов каждого последующего реле повышается вдвое по сравнению с предыдущим, то такая схема носит название дуальной схемы.

Недостатком дуальной схемы дешифратора является большое число последовательно соединённых контактов реле. Во всякой же электрической схеме контакт—это самое слабое место. В самом деле, достаточно какому-нибудь одному из контактов реле разрегулироваться, окислиться или загрязниться и перестать вследствие этого проводить ток, как сразу же нарушается питание исполнительной цепи. В серьёзных, особо ответственных случаях телеуправления это может привести к аварии.

Если же случайное, неверное включение цепи не особенно опасно, комбинационные устройства можно с успехом применять. По сравнению с рассмотренными выше схемами телеуправления комбинационные устройства позволяют значительно сократить число соединительных проводников.

Возникает вопрос: а нельзя ли ещё более сократить число проводов? Например, обойтись всего двумя проводами для какого угодно большого числа команд?

Современная техника управления на расстоянии успешно решает и эту задачу. Более того, как мы увидим из дальнейшего, она позволяет обойтись совсем без проводов и передавать команды по радио или посредством звуковых и световых сигналов.

Рассмотренные выше многоканальные устройства телеуправления и телесигнализации могут применяться при расстояниях между пунктом и объектом управления порядка 1,5—2,5 км.

При бóльших расстояниях, особенно в тех случаях, когда количество управляемых объектов превышает 10—15, применение многоканальных устройств телеуправления и телесигнализации становится экономически нецелесообразным.

Расходы на сооружение и эксплуатацию линии связи, состоящей из большого числа проводов, настолько повышаются, что выгоднее применить хотя и более сложные системы телеуправления и телесигнализации, но такие, которые для своей работы требуют применения только двух проводов.

### **Простейшее устройство телеуправления с шаговыми распределителями**

Как осуществить передачу на расстояние сколь угодно большого количества команд, пользуясь при этом всего лишь двумя проводами линии управления?

Оказывается, что это можно сделать и притом довольно простым способом. Для этого можно установить на приёмном конце линии управления механизм, который бы автоматически выбирал нужную цепь исполнения в зависимости от числа переданных по проводам электрических импульсов.

Такой механизм называется **и з б и р а т е л е м** **к о м а н д т е л е у п р а в л е н и я**. При получении той или иной команды телеуправления он выбирает, как бы ищет нужную электрическую цепь и, найдя её, включает в неё ток.

На передающем же конце линии управления можно установить, например, такой прибор, который при нажатии кнопок на пульте управления направляет в сеть послышки тока, состоящие из различного числа электрических импульсов.

В этом случае одна команда передаётся одним электрическим импульсом, другая—двумя, третья—тремя импульсами и т. д.

Избиратели команд телеуправления, реагирующие на число импульсов, бывают различных типов и систем. Так, например, в автоматической телефонии применяется очень простой избиратель, называемый шаговым искателем. Когда мы набираем диском телефонного аппарата тот или иной номер, то этим посылаем в линию электрические импульсы, воздействующие на шаговые искатели.

Именно благодаря искателям мы имеем возможность обойтись на АТС без телефонисток. Искатели «ищут» линию абонента, с которым мы хотим соединиться, и, найдя нужную линию, соединяют с ней наш аппарат.

Искатели на автоматических телефонных станциях приводятся в действие либо электромагнитами (станции шаговой системы), либо небольшими электродвигателями (станции машинной системы).

Простейшие искатели автоматической телефонной станции, предназначенные для поисков группы линий абонентов и называемые предискателями, устроены следующим образом. Небольшой электромагнит (рис. 130), когда по его катушке проходит ток, как и в обычном реле, притягивает якорь. На якоре укреплена изогнутая пластинка  $C_1$  с зубом на конце, называемая собачкой. Собачка заходит своим концом в одну из впадин храповика  $X$ . Храповик укреплен на стальной оси, снабжённой пружинящими бронзовыми щётками.

Когда в катушку электромагнита включается ток, то его железный сердечник намагничивается и притягивает якорь, а вместе с ним и собачку (см. рис. 130, б).

Собачка следует за движением якоря, нажимая при этом на зуб храпового колеса. От её нажима храповик поворачивается на один зубец. Вместе с храповиком повернулись и контактные щётки. Произошло переключение; щётка сошла с одного контакта и перешла на соседний. Она, таким образом, сделала один «шаг» по контактному ряду. Отсюда и произошло название шагового искателя.

Если с первым контактом, где щётка была раньше (до включения тока в электромагнит), соединялась одна группа линий телефонного абонента, то сейчас уже соединяется другая. Но вот импульс тока закончился и электромагнит перестал притягивать якорь. Якорь под действием

пружини возвращается на старое место и тянет при этом за собой собачку, которая, скользя по храповику своим концом, западает в соседнюю впадину. Вторая собачка  $C_2$  в это время удерживает храповик.

При каждом импульсе тока якорь искателя притягивается и щётка переходит на следующий контакт.

Искатели автоматических телефонных станций обычно имеют четыре контактных ряда и соответственно четыре изолированные друг от друга контактные щётки. Два кон-

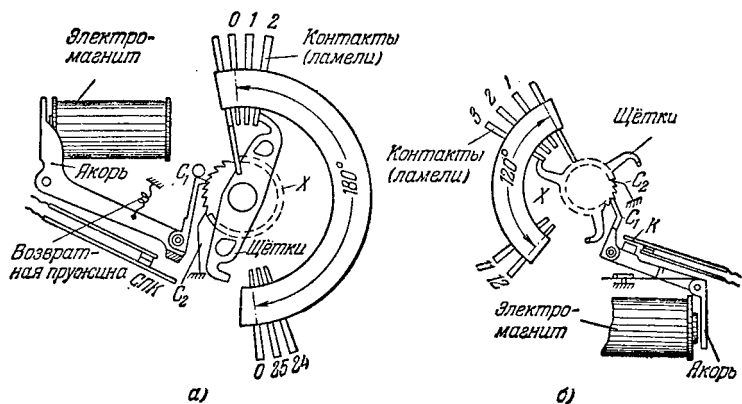


Рис. 130. Шаговые распределители (искатели):

а) обратного действия—храповик поворачивается при отпускании якоря; б) прямого действия—храповик поворачивается при притягивании якоря; X—храповик,  $C_1$ —движущая собачка,  $C_2$ —упорная собачка, K—контакт, СИК—контакт самоперевыателя.

тактных ряда служат для осуществления соединений телефонных аппаратов, третий ряд—для пробы на «занятость», а четвёртый—для автоматического возвращения контактных щёток в исходное, нулевое положение.

Контакты искателей представляют собой тонкие бронзовые пластинки, зажатые винтами между изолирующими прокладками.

Все четыре ряда контактов искателя, так же как и контактные щётки, электрически изолированы друг от друга.

Современная автоматическая телефонная станция представляет собой соединение большого количества реле и искателей.

На крупных автоматических телефонных станциях применяются столбчатые подъёмно-вращательные шаго-

вые искатели. Эти искатели имеют три секции по десять контактных рядов в каждой. На вертикальной оси искателя сидят три контактные щётки, расположенные друг над другом. Таким образом, общее количество контактов искателя равно 300. Контакты расположены по окружности, занимая дугу в  $180^\circ$ .

При наборе, например, двух цифр номера искатель производит следующие действия.

Сначала ось со щётками с помощью подъёмного электромагнита поднимается вверх в один из десяти рядов контактов, а затем другой (вращающий) электромагнит поворачивает ось вправо и устанавливает щётки на требуемый контакт. Щётки этого искателя устроены так, что они охватывают контакт с двух сторон—и сверху и снизу.

Искатели АТС с успехом могут быть использованы не только для соединения линий телефонных аппаратов друг с другом, но и для управления на расстоянии различными механизмами.

Так, например, с помощью шаговых искателей можно управлять на расстоянии водонасосной станцией (рис. 131). При одном импульсе тока щётка шагового искателя передвинется с нулевого на первый контакт и через промежуточное реле включит первую исполнительную цепь, например магнитный пускатель электродвигателя, приводящего в движение водяной насос. При двух импульсах, следующих друг за другом, щётка перейдёт на второй контакт и включит электрический механизм, открывающий задвижку водомагистрали; при трёх импульсах включится электродвигатель второго насоса и т. д.

Обойдя последовательно друг за другом все электрические контакты искателя, щётка вернётся на нулевой контакт. Дальше действие будет повторяться.

Допустим, что электродвигатель одного из насосов станции включается в тот момент, когда щётка искателя находится на третьем контакте. Даём три импульса вращением диска номеронабирателя или путём трёхкратного нажатия на кнопку пульта управления.

При первом импульсе тока щётка шагового искателя перейдёт с нулевого контакта на контакт, соединённый с цепью магнитного пускателя электродвигателя первого насоса, при втором—на контакт, соединённый, например, с электрическим механизмом задвижки, включит на мгновение (если импульсы управления передавать достаточно

быстро) все эти устройства и, только перейдя на третий контакт, замкнёт нужную нам исполнительную цепь.

Таким образом, применив простейший механизм—шаговый искатель, соединённый с пультом управления всего лишь двумя проводами, мы получили возможность включать исполнительные цепи по очереди, одну за другой.

Схема управления с шаговым искателем (распределителем) более совершенна, чем предыдущие схемы телеупра-

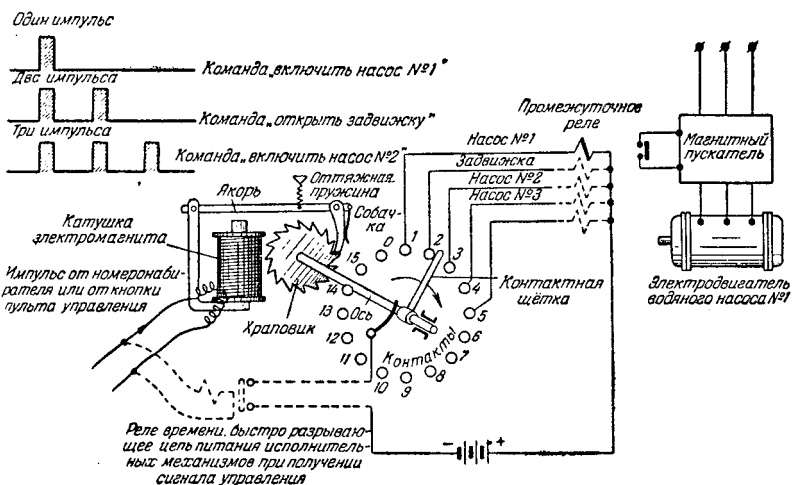


Рис. 131. Работа шагового искателя в схеме телеуправления. Пунктиром показано реле времени, разрывающее цепь питания промежуточных реле при передаче команд управления.

вления, так как позволяет сократить число соединительных проводов до двух независимо от числа управляемых объектов.

Однако этого недостаточно, так как один шаговый распределитель ещё не даёт возможности управлять включением любой электрической цепи по нашему желанию.

Очевидно, нужен какой-то автоматический прибор, который должен разорвать цепь питания исполнительных механизмов при передаче команды и включить ток только тогда, когда щётка остановится на выбираемом контакте. Одним из таких приборов, которые включают ток только в нужную исполнительную цепь, является реле времени.

Реле времени позволяет выбирать нужную электрическую исполнительную цепь в зависимости от числа переданных импульсов управления совершенно безошибочно.

Идея работы реле времени в схеме телеуправления очень проста.

При получении каждого сигнала управления этот прибор срабатывает одновременно с искателем (так как они включены параллельно) и разрывает цепь питания промежуточных реле (или непосредственно самих исполнительных механизмов), а через некоторое время после прекращения сигнала опять её включает.

Отличительное свойство реле времени заключается в том, что, срабатывая быстрее, чем шаговый искатель, оно медленно (с выдержкой времени) отпускает свой якорь, замыкая контакты цепи питания.

Контактная щётка во время передачи импульсов управления перемещается по электрическим контактам, но цепи исполнительных механизмов будут разорваны, пока щётка не дойдёт до нужного контакта и не остановится на более или менее длительное время.

Предположим, что мы даём три импульса, троекратно нажимая на кнопку пульта управления. При этом три раза включается ток в первичное (входное) реле, которое своими контактами включает одновременно электромагнит искателя и цепь реле времени. Под действием этого тока три раза намагничивается электромагнит распределителя и столько же раз он притягивает свой якорь.

При каждом импульсе тока реле времени также срабатывает и разрывает цепь электрической батареи. Замыкание цепи питания исполнительных механизмов в данном случае произойдёт только через некоторое время после передачи третьего импульса.

Если мы быстро, один за другим, передадим полное число импульсов, соответствующее числу зубцов храповика, то щётка сделает полный оборот и, обойдя по очереди все электрические контакты, встанет на нуль. В этом случае ни одна цепь не будет замкнута и ни один исполнительный механизм не сработает, так как реле времени будет держать главную электрическую цепь питания разорванной, пока передаются команды.

Современная техника создала много различных реле (электромагнитных, электромеханических, тепловых) с выдержкой времени.

Описанный способ телеуправления с применением шагового искателя основан на передаче различного числа импульсов. При этом каждой команде соответствует своё, вполне определённое количество импульсов. Применяя этот число-импульсный способ, удаётся обойтись всего лишь двумя проводами для передачи большого количества команд управления. Число команд, которые могут быть переданы по двум проводам, равно числу контактов шагового искателя.

Основной недостаток этой схемы заключается в медленном исполнении команд. Если мы даём, например, двадцатое распоряжение, то потребуются передать двадцать импульсов. Считая, что на передачу каждого импульса требуется 0,1 сек., на интервал между ними—0,1 сек., на срабатывание первичного реле, распределителя и реле времени—0,1 сек., получаем в общей сложности 0,3 сек.

Значит, выполнение двадцатого распоряжения потребует не менее 6 сек. Поэтому во многих случаях применяют другие способы, позволяющие быстрее передавать команды.

Мы рассказали о применении шаговых искателей в самых простых схемах телеуправления с целью показать один из способов сокращения числа проводов линии связи. Однако эта схема имеет ряд недостатков. Во-первых, как мы видели, она является медленно действующей. Во-вторых, эта схема совершенно не предусматривает защиты от ложных команд.

Особое же внимание во всех системах управления на расстоянии уделяется именно вопросу надёжности. В случае «срыва» импульса, повреждения проводов и т. д. может быть передана ложная команда, что, конечно, совершенно недопустимо. Специальные методы защиты в современных системах управления на расстоянии делают невозможным выполнение искажённых команд. Каждое повреждение становится немедленно известным диспетчеру поста управления (на пульте загорается сигнальная лампочка).

### **Устройства телеуправления с синхронно-переключающимися распределителями**

Многократную передачу импульсов можно осуществить также с помощью синхронно-переключающихся шаговых распределителей. Представим себе два совершенно оди-



наковых шаговых распределителя, из которых один установлен на передающем, а другой—на приёмном пунктах телеуправления (рис. 132). Контактные пластинки шагового распределителя, находящегося на передающем пункте, посредством кнопок управления могут подключаться либо к положительному, либо к отрицательному полюсу электрической батареи.

*Передающее устройство*

*Приёмное устройства*

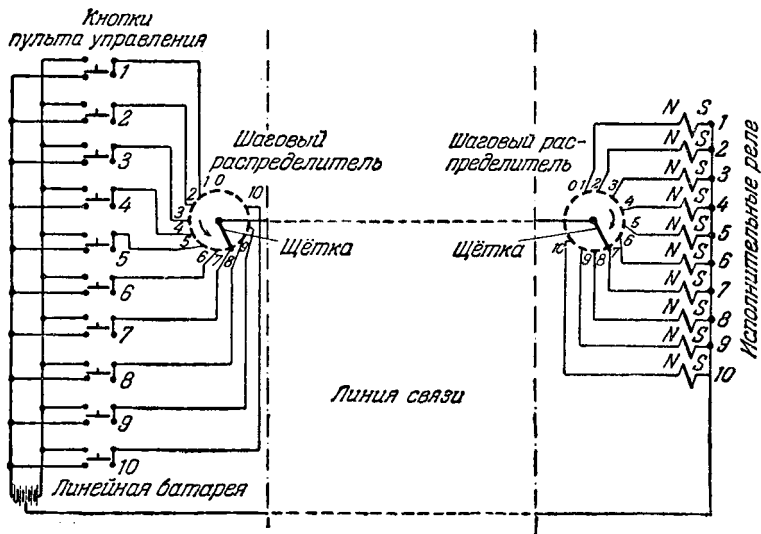


Рис. 132. Принцип распределительного избирания.

На приёмном устройстве к контактам распределителя присоединены поляризованные реле. Один провод линии соединяет их обмотки со средней точкой линейной батареи, а второй осуществляет прямую электрическую связь между контактными щётками шаговых распределителей на передающем и приёмном пунктах.

Если синхронно и синфазно переключать щётки обоих шаговых распределителей, то в каждый момент времени на передающем и на приёмном пунктах будет образовываться электрическое соединение ключа с соответствующим ему реле (см. схему рис. 132).

При каждом переключении щётки распределителя в линию будут посылаются импульсы тока различной поляр-

ности в зависимости от того, в каком положении находится тот или иной ключ передающего пульта управления.

В зависимости от полярности переданных в линию импульсов в различных направлениях работают те или иные поляризованные реле на приёмном устройстве.

При таком способе передачи команд телеуправления каждый импульс будет равноценен отдельному соединительному проводу в многоканальных устройствах.

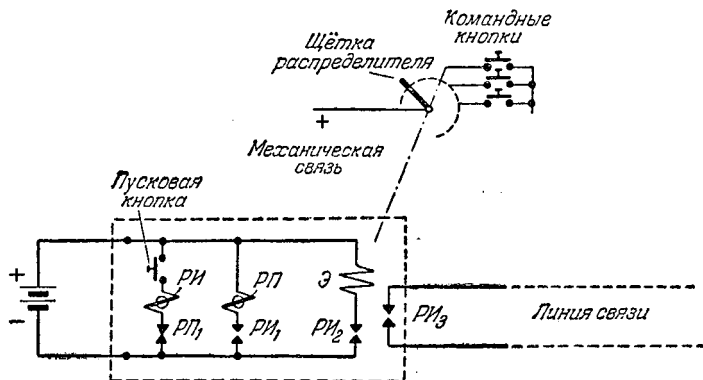


Рис. 133. Релейный генератор импульсов (пульс-пара).

Двухпозиционные ключи и поляризованные реле здесь применены для удвоения числа команд.

Для переключения щёток распределителей используются импульсы тока, которые получаются посредством особых приборов, называемых релейными генераторами импульсов или пульс-парами.

На рис. 133 показана схема релейного генератора импульсов из двух реле замедленного действия.

При нажатии пусковой кнопки ток посылается в одно из реле  $РИ$  (реле импульса). Реле срабатывает и притягивает якорь, замыкающий три пары контактов. Две из них— $РИ_3$  и  $РИ_2$ —осуществляют посылку импульса тока в линию связи и в электромагнит  $\mathcal{E}$  распределителя передающего устройства, третья— $РИ_1$ —замыкает цепь питания второго реле  $РП$  (реле паузы). Сработав, реле паузы разрывает своими контактами  $РП_1$  цепь питания реле импульса. С некоторым замедлением реле импульса отпускает свой якорь и контакты его размыкаются. Импульс

тока в линию связи и в распределитель прекращается. Таким образом, будет сделан один шаг щёток по контактам распределителей.

При следующем срабатывании с реле *РИ* указанное выше действие повторится—в линию будет послан второй импульс тока и щётки сделают ещё один шаг по контактному ряду. Если пусковая кнопка остаётся замкнутой, то генератор будет пульсировать непрерывно.

Полный период пульсации генератора импульсов (т. е. время паузы плюс время импульса) в телемеханических устройствах выбирается в пределах от 100 до 180 миллисекунд. Длительность импульсов и пауз будет зависеть от времени замедления обоих реле, т. е. от того, с какой скоростью они притягивают и отпускают (после выключения тока из катушек) свои якоря.

Регулировка продолжительности импульса и паузы производится путём подбора реле с различным замедлением срабатывания и отпускания.

Итак, благодаря релейному генератору импульсов мы получили возможность осуществить синхронное движение щёток шаговых распределителей на передающем и на приёмном устройствах.

Иногда та же задача решается с применением синхронных двигателей и непрерывно вращающихся распределителей. Описание такой системы приведено ниже. В таких системах используются особые методы предупреждения или устранения несинхронного и несинфазного движения.

Вопросы выбора кодов, числа проводов, распределителей, шифраторов и дешифраторов рассматриваются в теории избирания, излагаемой в книгах по телеуправлению<sup>1)</sup>.

В одной из лабораторий разработано устройство телеуправления и телесигнализации типа ВРТ (временно-распределительная система телеуправления). В этом устройстве применён распределительный метод выбора команд телеуправления. В передающем и в приёмном устройствах ВРТ устанавливаются шаговые искатели телефонного типа и электромагнитные реле. Искатели на приёмной и на передающей сторонах линии телеуправления перемещают свои щётки синхронно и синфазно.

---

<sup>1)</sup> Горьянов О. А. и Райнес Р. Л., Телеуправление, Госэнергоиздат, 1954.

Движением обоих искателей управляет генератор импульсов, создающий синхронную пульсацию тока в линии связи. Импульсы тока в линию связи посылаются отдельными сериями. Каждая командная серия состоит из постоянного числа импульсов и пауз между ними.

Одни импульсы (нормальные) обеспечивают синхронное движение щёток шаговых искателей, другие (удлиненные) служат для выбора необходимых цепей исполнения.

Команды телеуправления и известительные сигналы о положении исполнительных механизмов могут передаваться по линиям электропередач высокого напряжения.

### Устройства телеуправления с вращающимися распределителями

Для целей телеуправления вместо синхронно-переключающихся распределителей можно использовать распределители с непрерывным вращением контактных щёток. Для этого как в передающем, так и в приёмном устройствах нужно установить двигатели.

Чтобы такая система правильно работала, двигатель приёмного устройства должен вращаться с и н х р о н н о и с и н ф а з н о с двигателем передающего устройства. Если контактные щётки вращаются синхронно, т. е. с совершенно одинаковыми скоростями, но в момент включения двигателей находятся на разных контактах, правильной передачи сигналов не будет.

Если, допустим, в какой-то момент времени щётка передатчика находится на третьем контакте, то в этот же момент щётка приёмника должна также находиться точно на третьем контакте.

Тогда посылкой команд управления через вращающиеся распределители можно будет по желанию включать любую исполнительную цепь.

Синхронное и синфазное движение контактных щёток в передающем и принимающем устройствах можно получить посредством синхронных электродвигателей. Однако не исключается возможность применения и других двигателей. Для этого используют автоматические регуляторы скорости с задающими генераторами стабильной частоты.

Хорошим и надёжным регулятором скорости является так называемый синхронный тормоз, управляемый камертонным или другим стабильным генератором. Одна из

систем с двигателями постоянного тока и синхронными тормозами показана на рис. 134.

Синхронный тормоз представляет собой железный диск, у которого по окружности сделаны выступы и впадины. Диск располагается на валу электродвигателя постоянного тока и вращается между полюсами электромагнита, обмотка которого питается от электрической батареи через камертонный прерыватель.

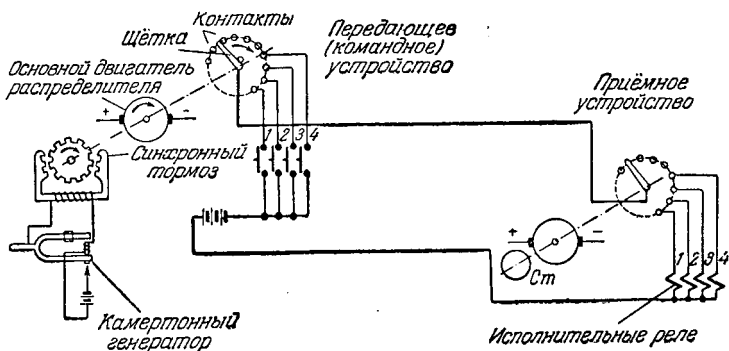


Рис. 134. Принципиальная схема телеуправления с синхронно-вращающимися распределителями и синхронными тормозами Ст. (В приёмном устройстве синхронный тормоз обозначен Ст.)

Частота колебаний камертона отличается большим постоянством, однако её в небольших пределах можно изменять передвижением маленького груза на ножке камертона.

Предположим, что скорость вращения электродвигателя, а следовательно, и контактной щётки распределителя стремится увеличиться. Синхронный тормоз не допустит этого, так как он разовьёт удерживающий момент. При замедлении, наоборот, он будет подгонять двигатель.

При наличии двух одинаково настроенных камертонов в передатчике и приёмнике система обеспечивает синхронное вращение контактных щёток.

Несколько сложнее осуществить синфазирование, т. е. установку вращающихся контактных щёток в одинаковое положение. Обычно для этого используются специальные корректирующие сигналы, подаваемые регулярно в определённые промежутки времени.

## Устройства телеуправления с электронно-лучевыми распределителями

В качестве распределителей в системах телеуправления и телесигнализации иногда применяют электронно-лучевые распределители.

На рис. 135 показана одна из первых таких систем. Электронно-лучевой распределитель представляет собой стеклянную трубку, расширяющуюся на конце. В этой трубке, как и в радиолампе, имеются нить накала, излучаю-

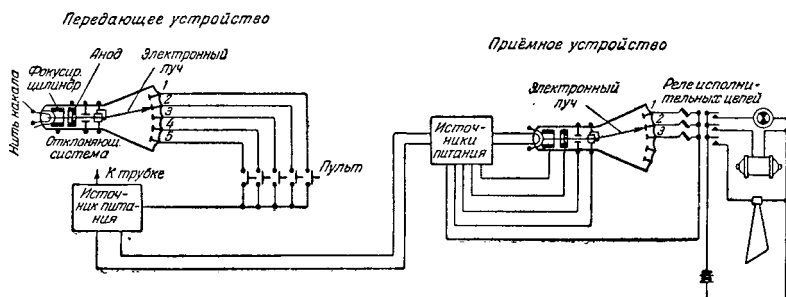


Рис. 135. Упрощенная принципиальная схема телеуправления с электронно-лучевыми распределителями. (Усилительные устройства на рис. не показаны.)

щая электроны, анод и сетка. Анод сделан в виде пластинки с отверстием в центре, через которое может пройти пучок электронов, получая большое ускорение. Сетка сделана в виде полого цилиндра с отверстием посередине.

Нить при накаливании её током испускает поток электронов, которые притягиваются анодом. Сетка, как и во всякой электронной лампе, управляет этим электронным потоком. Под воздействием высокого анодного напряжения скорость электронного потока достигает нескольких тысяч километров в секунду.

Обладая такой огромной скоростью, электроны пролетают через отверстие в аноде и попадают на полусферическую стенку трубки. В эту стенку впаяны электрические контакты, расположенные по кругу. На рисунке условно показано расположение контактов по вертикальной дуге. Конец электронного луча совершает равномерное круговое движение по контактам, впаянным в стеклянную стенку

трубки. При этом в передающем и приёмном устройствах обеспечивается совершенно одинаковая скорость движения лучей. Электронные лучи обеих трубок синхронно и синфазно с огромными скоростями описывают круги, скользя по контактам. В приёмном устройстве электронный луч при помощи сетки отпирается в те моменты, когда луч передатчика проходит замкнутые контакты.

К контактам трубки на приёмном конце через усильтельное устройство присоединены реле, включающие исполнительные цепи.

В последнее время получили распространение электронные распределители других типов. Наибольший

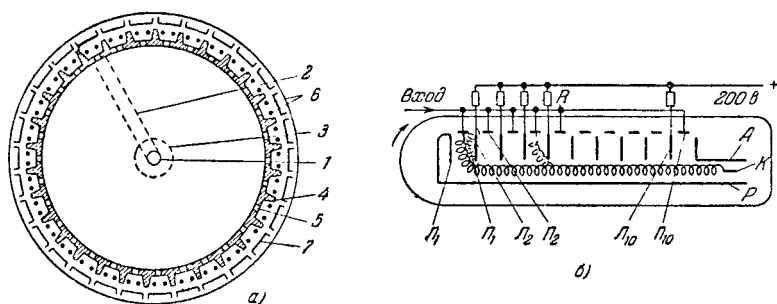


Рис. 136. Электроно-лучевые распределители:  
а) радиально-лучевой; б) трохотронный.

интерес представляют радиально-лучевые распределители и так называемые трохотроны.

В радиально-лучевом приборе (рис. 136, а) электронный луч 2 развёртывается в плоскости круга, осуществляя таким образом электронное переключение цепей.

Электронный поток катода 1 концентрируется в плоский луч, образуя как бы «электронную щётку», которая перемещается под действием внешнего вращающегося магнитного поля. Контакты 7 электроно-лучевого распределителя расположены по кругу против щелей 5, прорезанных в анодном цилиндре 4. Между контактами 7 и щелями 5 в анодном цилиндре располагаются управляющие сетки 6. Посредством этих сеток можно запирать или

регулировать ток в каждой из цепей, присоединённых к контактам. Кроме того, вблизи катода находится ещё одна сетка  $Z$ , общая для всего прибора. Эта сетка также регулирует ток электронного луча, величина которого может быть доведена до нескольких десятков миллиампер.

Размеры радиально-лучевых распределителей не превышают размеров обычных электронных ламп. Благодаря небольшим размерам они могут быть с успехом применены в управляемых на расстоянии движущихся объектах (катеры, самолёты и т. д.).

За последнее время в автоматике и телемеханике получили применение трохотронные распределители (рис. 136, б). Трохотрон происходит от слова трохоида. Трохоида—это геометрическая кривая типа циклоиды, напоминающая петли полуэллипсов.

По такой кривой двигаются электроны под воздействием электрических и магнитных полей. В зависимости от скорости движения электрона его траектория меняет свою форму. Она то образует петли (сжатая трохоида) и становится похожей на спиральную пружину, то, наоборот, растягивается, переходит в другую кривую (циклоиду) или превращается в прямую линию.

При напряжённости электрического поля порядка 100 вольт на сантиметр, а магнитного—порядка 100 гаусс электроны, эмиттируемые цилиндрическим катодом, концентрируются в луч толщиной около одного миллиметра.

Катод  $K$  эмиттирует электроны, которые под действием магнитного поля, перпендикулярного к плоскости чертежа, двигаются по трохоиде вдоль электрода  $P$ , называемого рельсом. На конце рельс загибается, образуя так называемую лопатку  $L_1$ . Параллельно этой лопатке внутри баллона трохотрона расположен ещё ряд лопаток  $L_2, \dots, L_{10}$ , соединённых через соответствующие сопротивления  $R$  с положительным полюсом источника тока. Между лопатками  $L$  и перпендикулярно к ним располагаются металлические электроды  $П_1, \dots, П_{10}$ , называемые пластинками. Пластинки и лопатки образуют, таким образом, ряд металлических ячеек.

Трохоидальный луч попадает в ту из ячеек, лопатка которой находится под пониженным потенциалом.



На схеме 136, б видно, что пластинки соединены параллельно. Подавая на них отрицательные импульсы, можно осуществить последовательные перебросы трохойдального луча из одной ячейки в другую, т. е. получить электронный распределитель. Длительность процесса переброса луча определяется постоянной времени, равной произведению сопротивления на ёмкость лопатки по отношению ко всем другим электродам. Элемент А является анодом.

Анодное напряжение в трохотроне порядка 100—200 в. Ток электронного луча довольно значителен и достигает 5 ма, что вполне достаточно для срабатывания чувствительного реле.

Магнитное поле трохотрона создаётся постоянным магнитом с напряжённостью порядка 300 гаусс. Амплитуда входных импульсов, подаваемых на трохотрон, может меняться в пределах от 20 до 100 в. Связь ячеек с внешней схемой осуществляется через сопротивления  $R$  при помощи дополнительных соединений.

По внешней форме и размерам трохотроны напоминают обычные электронные лампы.

В специальной литературе имеются более подробные сведения о трохотронах и других электронно-лучевых распределителях<sup>1)</sup>.

Следует отметить также перспективные возможности применения для целей телеуправления и телесигнализации распределителей на обычных электронных лампах, тиратронах с холодным катодом и магнитных бесконтактных реле типа магнитных усилителей.

\* \* \*

В заключение покажем способ частотного избирания, основанный на том, что командные импульсы телеуправления делаются отличающимися друг от друга частотой электрических колебаний. Упрощенный пример системы с частотным избиранием показан на рис. 137. На передающей стороне имеется электронный генератор, частота которого может изменяться переключением конденсаторов 1, 2, 3 колебательного контура.

---

<sup>1)</sup> Журнал «Автоматика и телемеханика», т. XIII, № 2, 1952, стр. 193—211, а также книга: Му л я р о в М. Я., Электронно-лучевые приборы, Госэнергоиздат, 1954.

На приёмной стороне устанавливаются резонансные реле, каждое из которых отзывается на определённую частоту. Вместо резонансных реле можно применять

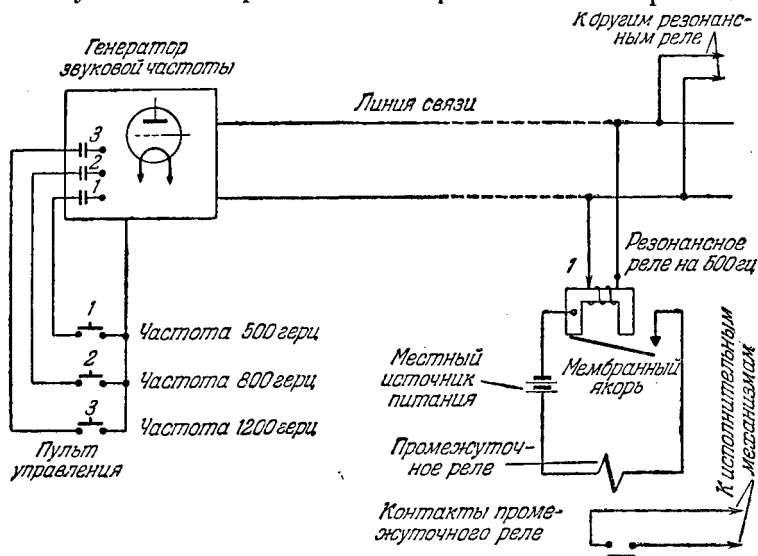


Рис. 137. Принципиальная схема частотной системы телеуправления с резонансными реле.

и обычные электромагнитные реле, включаемые через частотные (полосовые) фильтры. Каждый из этих фильтров пропускает только строго определённую узкую полосу частот.

### Проводные линии связи

Для телемеханического управления и контроля неподвижных объектов (электрических станций и подстанций, насосных станций, газопроводов, нефтепроводов и т. д.) чаще всего применяются проводные линии. Они выполняются в виде воздушных линий или в виде многожильных кабелей, которые чаще всего располагаются под землёй. В энергетических системах при управлении на больших расстояниях (свыше 30 км) в качестве каналов связи часто используют также высоковольтные линии электропередачи.

Кабельные линии связи для целей телемеханики наиболее надёжны. Они менее, чем другие линии связи, подвер-

жены внешним воздействиям. Электрические параметры многожильных кабелей также довольно высоки. Так, например, нормальное сопротивление изоляции между отдельными жилами кабелей дальней связи—порядка 5000 миллионов ом на один километр. Воздушные линии связи менее надёжны. Изоляция проводов воздушной линии связи часто ухудшается при загрязнении или повреждении изоляторов, в туман, в дождь. При сильном ветре возможно кратковременное схлёстывание проводов. Команды телеуправления или показания телеизмерительных приборов, передаваемые в этот момент по линии связи, искажаются. В гололёд, когда на проводах нарастает толстый слой льда, возможны обрывы проводов. Чтобы избежать обрывов, вместо медных применяют более прочные стальные провода, но от этого почти в десять раз повышается сопротивление линии связи<sup>1)</sup>).

Электрические разряды, происходящие в атмосфере, могут оказать нежелательное воздействие на воздушную линию связи. Если же воздушная линия связи проложена вблизи линий, по которым идут токи большой силы, то возникают индуктивные влияния, искажающие телемеханические сигналы.

Вследствие недостаточной надёжности воздушных линий связи их применяют только в малоответственных телемеханических установках. На ответственных линиях телемеханической связи применяют главным образом кабельные линии. При этом часто используют существующие многожильные телефонные кабели.

Интересны методы использования жил кабеля для одновременной передачи телефонных разговоров и сигналов телемеханических устройств.

В некоторых случаях применяют, например, искусственно образованные дополнительные электрические цепи.

Как известно, телефонная связь по линии осуществляется переменным током. Если по телефонным проводам передавать импульсы постоянного тока телемеханических устройств, то возникают взаимные помехи. Телефонный разговор будет искажать сигналы телемеханики, а последние повлияют на слышимость телефонной передачи.

---

<sup>1)</sup> Активное сопротивление медных проводов диаметром 4 мм равно 2,84 ома на километр; такие же стальные провода имеют активное сопротивление 22 ома на километр.

Чтобы избежать помех, можно применить схему включения по принципу уравновешенного моста. Для образования этой схемы достаточно вывести средние точки вторичных обмоток телефонных трансформаторов (рис. 138) и подключить к ним телемеханическую аппаратуру. Импульсы постоянного тока телемеханических устройств проходят по линии в одном направлении. Они создают во вторичной обмотке трансформатора магнитные потоки, направленные навстречу. Магнитные потоки нейтрализуют друг друга, и при замыкании или размыкании ключа э. д. с. в обмотках трансформаторов ток не индуктируется. Благодаря этому телемеханические импульсы не мешают телефонным переговорам. Независимость обоих каналов связи (телефонного и телемеханического) сохраняется лишь при точном уравновешивании схемы.

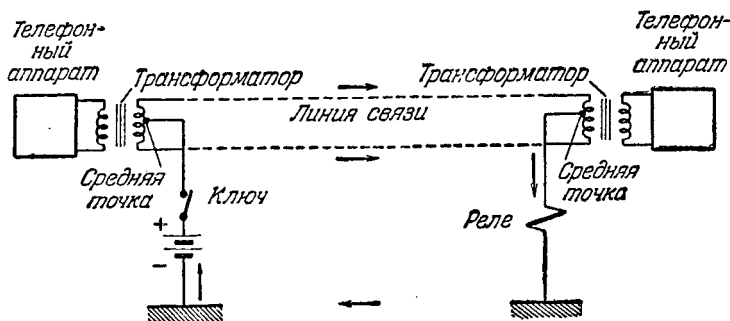


Рис. 138. Схема одновременного использования двухпроводной линии для телефонирования и для передачи импульсов постоянного тока.

При нарушении равновесия, которое может произойти, например, от изменения сопротивления изоляции одного из проводов, возникают взаимные помехи: телефонный разговор мешает телемеханической передаче, а последняя искажает слышимость.

Блуждающие токи электрифицированных железнодорожных путей также могут создавать помехи в телемеханической передаче. Поэтому линию связи вблизи от трамваев, электропоездов и т. д. прокладывать нельзя.

Нельзя ли уменьшить влияние помех, которые могут возникнуть от вышеуказанных причин? Это сделать можно, применив так называемую «фантомную» схему включения, исключая влияние земли.

При фантомной схеме включения (рис. 139) для телемеханической передачи используются две двухпроводные телефонные линии, причём образуется дополнительная цепь через средние точки трансформаторов. В том случае, когда многожильный кабель специально предназначается для телемеханической связи, также желательно уплотнить линию, с тем чтобы при двух парах проводов иметь не два, а три канала связи. Этого можно достигнуть, используя, например, для целей телеуправления (или телесигнализации) импульсы постоянного тока, а для телеизмерения—переменный ток определённой частоты.

Впервые такой метод разделения электрических цепей был применён в телефонно-телеграфной передаче.

В 1880 году военный связист капитан Игнатъев провёл опыт передачи по одной линии связи телеграфной передачи и телефонного разговора. Капитан Игнатъев использовал свойство конденсатора пропускать переменный ток и задерживать постоянный.

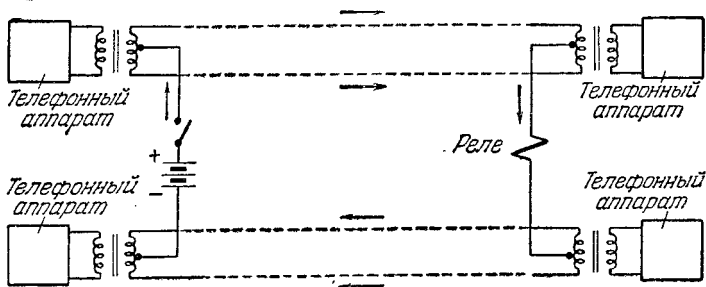


Рис. 139. Фантомная схема.

Для постоянного тока был создан другой, обходный путь—через катушку (дроссель) с большим числом витков изолированного провода, который прекрасно пропускает постоянный ток и представляет большое сопротивление для переменного тока. С помощью этих двух несложных устройств Игнатъеву удалось передать по одному проводу одновременно телеграмму и телефонный разговор. Перед телефонным аппаратом был включён конденсатор, перед телеграфным—катушка. Токи, проходящие с линии, разделились: постоянный ток шёл в телеграфный аппарат, переменный же—через конденсатор—в телефон. Здесь не учитываются колебательные процессы, возникающие в моменты включения и выключения постоянного тока.

Этот простой способ разделения электрических цепей применяется также и в телемеханике для удвоения числа каналов связи (рис. 140).

Удвоения числа каналов, образуемых одной двухпроводной линией, можно достигнуть также при использовании другого физического явления—односторонней проводимости твёрдых выпрямителей. В этом случае питание цепей телемеханики ведётся полуволнами переменного тока различной полярности. Из схемы, изображённой выше, на рис. 127 (стр. 225), видно, что один канал связи образуется с помощью выпрямителей  $B_1—B_2$ , а другой— $B_3—B_4$ . При замыкании ключа управления используется канал

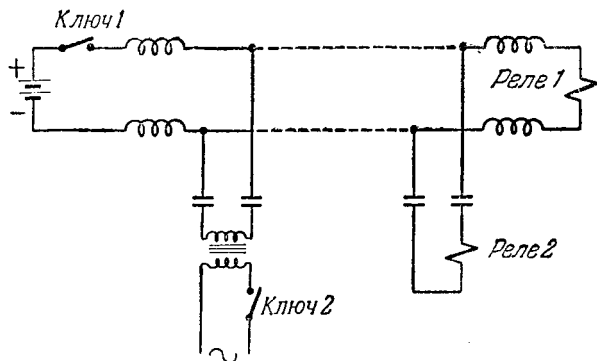


Рис. 140. Передача сигналов импульсами постоянного и переменного тока по одной линии связи.

связи, в котором положительная полуволна тока идёт слева направо. Реле управления (или другой прибор телемеханической схемы), включённое через твёрдые выпрямители  $B_1—B_2$ , при этом срабатывает.

Отрицательная полуволна тока выпрямителями  $B_3—B_4$  пропускается в обратном направлении (второй канал связи). При замыкании блок-контакта приёмного телемеханического устройства соответственно срабатывает сигнальное реле, установленное в передающем пункте.

Применение для уплотнения каналов связи свойств твёрдых выпрямителей даёт такой же эффект, как и применение электрических конденсаторов и катушек индуктивности в предыдущей схеме. В обеих этих схемах мы получаем лишь удвоение числа каналов связи. Бóльший эффект даёт использование свойств электриче-

ских контуров из конденсаторов и катушек индуктивности (фильтров) при так называемом частотном уплотнении каналов связи. Принцип частотного уплотнения проводной линии связи основан на одновременной передаче переменных токов различной частоты. Приёмное телемеханическое устройство снабжается фильтрами, выделяющими нужные частотные сигналы.

Генераторы переменного тока различной частоты включаются в линию связи через соответствующие электрические фильтры (рис. 141). В силу этого возможна одновременная передача по одной линии телемеханических сигналов на нескольких частотах.

Приёмное телемеханическое устройство имеет точно такие же фильтры. Каждый из фильтров пропускает только одну определённую полосу частот, а все остальные частоты задерживает. Таким образом, по одной двухпроводной линии может быть образовано столько каналов, сколько имеется в нашем распоряжении диапазонов частот.

Фильтр состоит из комбинации ёмкостей и катушек индуктивности. В радиоприёмнике мы «ловим» передающую радиостанцию, поворачивая ручку конденсатора переменной ёмкости, т. е. меняя собственную частоту колебаний колебательного контура приёмника. Таким образом настраиваем приёмник в резонанс с передающей станцией. Благодаря настройке радиоприёмник выделяет из огромного количества одновременно работающих радиостанций какую-нибудь одну, работающую именно на той длине волны, на которую настроен колебательный контур приёмника.

Если же взять несколько таких заранее настроенных контуров, то они будут сами автоматически «выбирать» только те сигналы, которые подаются с определённой частотой колебаний, соответствующей настройке данного контура; все другие частоты фильтр пропускать не будет.

Полосовой фильтр, т. е. такой фильтр, который пропускает только определённую полосу частот в диапазоне от частоты  $f_1$  до частоты  $f_2$  (рис. 142), может быть собран из двух катушек индуктивности  $L_1$  и  $L_2$  и двух конденсаторов  $C_1$  и  $C_2$ . Этот фильтр пропускает частоту  $f_1$  и все следующие за ней частоты, вплоть до частоты  $f_2$ . Частоты ниже  $f_1$  и выше  $f_2$  фильтром задерживаются.

Схемы частотного уплотнения проводных линий могут быть использованы также для одновременной передачи телемеханических сигналов и телефонных разговоров.

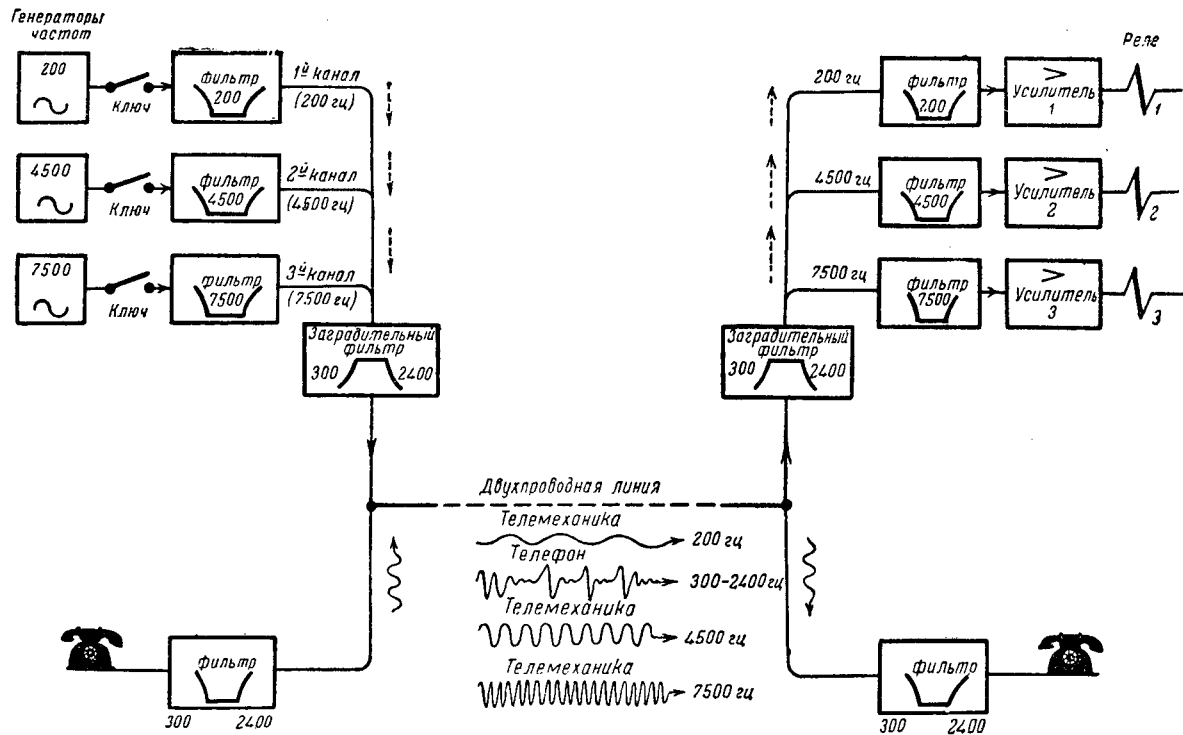


Рис. 141. Схема частотного уплотнения телефонной линии связи для образования дополнительных каналов телемеханической передачи.



В самом деле, телефонная связь осуществляется при частотах в диапазоне от 300 до 2400 периодов в секунду. Эта полоса частот (тональные частоты) отводится для телефонных переговоров. Частоты ниже 300 гц (подтональные) и выше 2400 гц (надтональные) могут быть использованы для телемеханической передачи.

Правда, весь диапазон подтональных частот полностью использовать нельзя. Дело в том, что силовые и осветительные сети могут индуцировать в телемеханической линии связи посторонние электродвижущие силы частотой в 50 гц. Приходится также считаться и с возможностью наведения токов в проводах линий связи от третьей гармоники (150 гц).

Так же обстоит дело и с частотами в 16 или 25 гц. На этих частотах передаются всем известные вызывные телефонные сигналы. Естественно, что во избежание помех этими частотами подтонального диапазона лучше не пользоваться.

Кроме надтональных частот (в диапазоне от 2400 до 8500 гц), для целей телемеханики широко используются и токи высоких частот (выше 8500 гц).

Во избежание воздействия токов телефонной передачи на телемеханические устройства в каналы связи включают специальные заградительные фильтры, состоящие из комбинации электрических конденсаторов и катушек индуктивности. Заградительные фильтры устанавливаются как на передающем, так и на приёмном устройствах.

На структурной схеме (рис. 141) было показано применение электрических заградительных и полосовых фильтров для получения четырёх частотных каналов связи. Полосовые фильтры не пропускают в телемеханические устройства никаких других частот (в том числе и тональных), кроме тех, на которые они настроены.

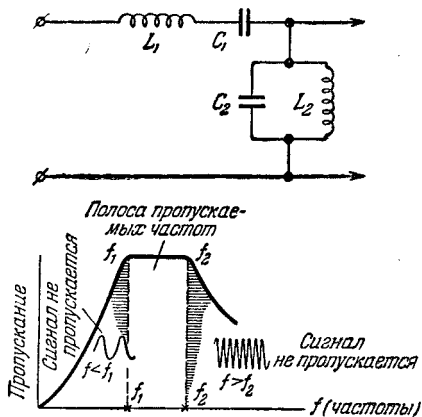


Рис. 142. Схема (вверху) и график пропускания (внизу) полосового фильтра.

Современная аппаратура многократного уплотнения проводных линий позволяет получить до 18 самостоятельных каналов связи на одной паре проводов.

### Высокочастотные каналы по линии электропередачи

Огромное значение, особенно в телемеханике энергетических систем, придаётся использованию в качестве каналов связи высоковольтных линий электропередач, обладающих большой электрической и механической надёжностью.

Для телемеханического контроля и управления энергетическими установками и системами использование высоковольтных линий электропередач в качестве каналов связи имеет особенно важное значение, так как линии высокого напряжения связывают между собой все объекты энергосистемы.

Каким путём передать телемеханические сигналы с диспетчерского пункта в линию электропередачи и как на приёмном устройстве отделить их от высокого напряжения?

Для этой цели применяются опять-таки электрические конденсаторы. Известно, что чем выше частота, тем больше проводимость конденсатора. Именно это свойство электрического конденсатора и используется для связи постов высокочастотной аппаратуры по высоковольтной линии электропередачи. Применяемые малоёмкостные конденсаторы (порядка нескольких сот микромикрофард) представляют высокое сопротивление для токов промышленной частоты (50 гц) и сравнительно малое сопротивление для токов высокой частоты. Изоляция электрических конденсаторов связи рассчитывается на рабочее напряжение линии электропередачи (35, 110, 220 кв).

Телемеханическая передача (рис. 143) осуществляется на частотах от 50 000 до 300 000 гц.

Для того чтобы высокие частоты телемеханической передачи не «растекались» по другим линиям электропередачи, отходящим от шин станции, и не замыкались через ёмкость высоковольтной аппаратуры, необходимо принять соответствующие меры защиты. Для этого можно использовать резонансные контуры. Контур, состоящий из электрической ёмкости и индуктивности, величины которых подобраны такими, что он оказывается настроенным

в резонанс на частоту телемеханической передачи, явится заградителем для этих частот. Поэтому резонансный заградитель будет прекрасно пропускать ток промышленной частоты с шин станции в линию электропередачи и вместе с тем не пропустит токов высокой частоты. Токи высокой частоты телемеханической передачи направляются только к приёмному телемеханическому устройству, а на шины станции не попадут.

Обычно для передачи по высоковольтной линии нескольких сигналов используется одна несущая частота. Высокока частотный пост и образует требуемые телемеханические каналы связи. На одной несущей частоте можно получить несколько каналов связи.

Для осуществления этого несущая частота модулируется по амплитуде соответствующими генераторами тональных (звуковых) частот. При этом каждая тональная частота  $f_1$ ,  $f_2$  и  $f_3$  создаёт свой самостоятельный канал связи. Если по каналу связи передаются командные импульсы телеуправления, то тональными частотами модулируется только несущая частота. Для этого служит модулятор высокой частоты.

Если же по каналу связи должны быть переданы показания телеизмерительных приборов (частотная система телеизмерения), то модулируется также и сама звуковая частота. Таким образом, модуляция производится дважды: вначале в модуляторе звуковой, а затем в модуляторе несущей частоты.

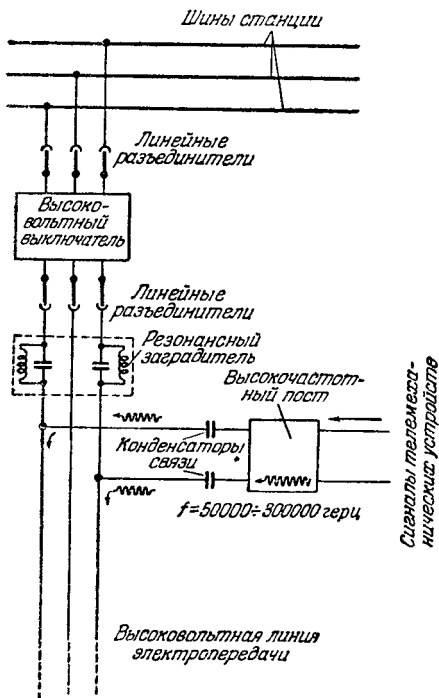


Рис. 143. Передача телемеханических сигналов по высоковольтной линии электропередачи.

Модулированные колебания усиливаются, а затем через фильтры и конденсаторы связи поступают в высоковольтную линию электропередачи. В приёмном пункте сигнал пропускается снова через высокочастотный фильтр и усилитель высокой частоты. Усиленный сигнал поступает в детектор высокой частоты. В нём все колебания тональных частот отделяются от несущей частоты и поступают в полосовые фильтры.

В полосовых фильтрах колебания тональных частот отделяются друг от друга и направляются в соответствующие приёмные телемеханические цепи. Каждый полосовой фильтр пропускает только одну тональную полосу частот, а все остальные частоты задерживает. Выделенные полосовыми фильтрами тональные сигналы вновь усиливаются и поступают в детектор звуковой частоты. В детекторе сигналы выпрямляются и питают приёмное реле, контакты которого управляют телемеханическим устройством.

Телеизмерительная линия частотной системы не требует применения детектирующих устройств звуковой частоты: усиленные звуковые частоты поступают непосредственно в приёмник телеизмерения.

Существующие типы многоканальных постов имеют до восьми тональных подканалов связи. Обычно ширина полосы пропускания полосовых фильтров подканалов составляет 80—90 гц на каждый фильтр.

## Г л а в а XII

### РАДИОТЕЛЕМЕХАНИКА

Мысль о практическом использовании радиоволн для управления на расстоянии возникла вскоре после того, как русский учёный А. С. Попов изобрёл первую в мире линию радиосвязи. Вначале опыты в этом направлении нельзя было назвать удачными. Лишь в дальнейшем, по мере развития радиотехники, стало возможным осуществить вполне надёжное управление механизмами на расстоянии по радио.

Каким же образом в принципе осуществляется управление механизмами на расстоянии по радио?

Многие знают, как работает обычный радиоприёмник. Радиоволны, излучаемые передающей станцией, возбуждают в антенне приёмника слабый электрический ток

высокой частоты, который выпрямляется и усиливается радиолампами, а затем поступает в громкоговоритель. В зависимости от силы и частоты принимаемых радиоприёмником сигналов слышны те или иные звуки.

Представим себе, ~~теперь~~, что вместо громкоговорителя в радиоприёмник включено чувствительное электромагнитное реле (рис. 144). Тогда при каждом сигнале радиопередатчика это реле будет притягивать якорь, который замыкает (или размыкает) контакты электрической цепи.

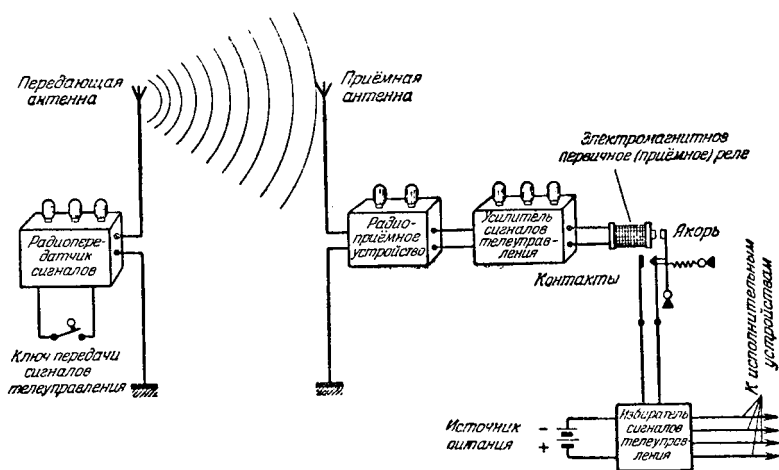


Рис. 144. Простейшая схема управления на расстоянии по радио.

Реле, управляемое на расстоянии по радио, будет действовать как автоматический выключатель, замыкая своими контактами исполнительную цепь. Если к контактам реле присоединить, например, шаговый распределитель, то при каждом радиосигнале щётка распределителя будет передвигаться по контактам и включать ту или иную исполнительную цепь. Аппаратура, подключённая к контактам распределителя, по идее устройства почти ничем не отличается от аппаратуры, применяемой для управления на расстоянии по проводам. Разница заключается лишь в том, что для движущихся объектов аппаратура телемеханического управления должна быть более лёгкой и компактной, чем для неподвижных (стационарных) установок.

Радиоприёмники вначале были применены для управления на расстоянии автомобилями, танками и катерами. Первые

опыты с этими объектами были произведены вскоре после изобретения А. С. Поповым радио. Радиоуправляемые боевые машины большого военного значения, однако, не имели вследствие сложности и недостаточной надёжности всех этих устройств в полевых условиях.

## Радиоволны в телеуправлении

Усовершенствование аппаратуры радио-телеуправления тесно связано с изучением условий распространения радиоволн в земной атмосфере. От длины волны, применяемой для управления на расстоянии, зависят надёжность и точность работы аппаратуры. Какие же длины волн и в каких конкретных условиях следует применять для радиоуправления механизмами? Ответ на этот вопрос даст нам рассмотрение физических явлений, связанных с распространением электромагнитных волн в пространстве.

Электромагнитные волны по своей природе одинаковы и различаются только длиной. Радиоволны—самые длинные, гамма-лучи—самые короткие. По таблице можно составить представление о промежуточных колебаниях. В таблице приведены длины электромагнитных волн, соответствующие различным видам излучения.

Таблица электромагнитных волн

Радиоволны длинные . . . . .	3 км и более
средние . . . . .	от 3000 до 200 м
промежуточные и короткие	от 200 до 10,0 м
ультракороткие метровые вол-	
ны (УКВ) . . . . .	от 10 до 1,00 м
дециметровые, сантиметровые	
и миллиметровые . . . . .	от 1 м до 0,1 мм
Тепловые лучи . . . . .	от 100 до 10 микронов <sup>1)</sup>
Инфракрасные лучи . . . . .	от 10 до 0,76 микронов
Видимые лучи . . . . .	от 7600 до 3800 анг-
	стрём (Å)
Ультрафиолетовые лучи . . . . .	от 3800 до 50 Å
Лучи Рентгена и гамма-лучи . . . . .	от 50 Å до 1 X

<sup>1)</sup> 1 микрон (μ)—одна тысячная доля миллиметра, 1 ангстрём (Å)—одна десятиллионная доля миллиметра и 1 X—одна тысячная доля ангстрёма или, иначе, одна десятиллиардная часть миллиметра.

Конечно, в природе существуют волны короче гамма-лучей, а также ещё более длинные, чем радиоволны. Эта таблица может быть расширена в обе стороны. Но практическое значение сейчас имеет только наиболее изученный диапазон длин волн, приведённый в таблице.

Какие же из этих волн наиболее пригодны для управления на расстоянии?

Длинные и средние радиоволны распространяются от передатчика во все стороны одинаково, и энергия их убывает обратно пропорционально квадрату расстояния от источника излучения. Ясно, что нет никакого смысла сигналы телеуправления передавать во все стороны. Это приводит лишь к дополнительной затрате энергии на передающем устройстве. Осуществление радиолиний телемеханической связи на длинных волнах хотя бы по этой одной причине нецелесообразно.

Радиоволны длиной от 200 до 10 м обладают большой дальностью действия. Эта их особенность послужила толчком к широкому развитию коротковолновой любительской связи. Короткие волны перекрывают любые расстояния на земном шаре, позволяя осуществлять радиосвязь при мощностях в несколько десятков ватт.

Однако при этом сила приёма меняется в зависимости от места расположения приёмника, от времени суток и от времени года. Иногда приём коротких волн и вовсе прекращается. Непостоянство связи выражается также в наличии так называемых мёртвых зон (зон молчания).

Мёртвой зоной (зоной молчания) называют область вокруг передающей радиостанции, в которой наблюдается ослабленный приём или полное отсутствие приёма радиосигналов. Вне пределов мёртвой зоны, ближе к передающей радиостанции и дальше от неё, наблюдается нормальный приём.

Зона молчания представляет собой как бы кольцо на земной поверхности, внутренний радиус которого (т. е. расстояние от передатчика до начала мёртвой зоны) сравнительно невелик (несколько километров или десятков километров). Внутри окружности этого радиуса приём радиосигналов нормальный. Затем начинается зона молчания. Наличие мёртвой зоны объясняется физическими особенностями распространения промежуточных и коротких радиоволн в атмосфере земли.

Можно различать две группы волн. Одна группа радиоволн вследствие диффракции распространяется вдоль земной поверхности в нижних слоях атмосферы (поверхностные волны). Другая группа волн принимается после отражения от ионосферы. Это так называемые пространственные радиоволны.

При работе на длинных волнах главную роль играют распространяющиеся вдоль земной поверхности по в е р х н о с т н ы е волны. Эти волны постепенно затухают, так как их энергия сильно поглощается землёй. Поэтому длинноволновые радиостанции имеют высокие антенны и мощность их передающих устройств должна быть очень большой.

При работе же на коротких (и промежуточных) волнах главную роль играют не поверхностные, а п р о с т р а н с т в е н н ы е волны, излучаемые в виде довольно узкого пучка, направленного под некоторым углом к земной поверхности.

Большая часть электромагнитной энергии сосредоточена в этом узком пучке. Попадая в ионизированный слой атмосферы, пучок радиоволн отражается от него и приходит обратно на поверхность земли. Если отражённая радиоволна попадает в ту точку, где находится приёмник сигналов телеуправления, то она воздействует на него. Но если управляемый объект (например, корабль) движется, то, перемещаясь, он может попасть в зону молчания и сразу же потерять управление.

Не только наличие мёртвых зон затрудняет работу телемеханических радиопередающих линий на коротких волнах. На правильности выполнения команд управления сильно сказываются другие особенности распространения промежуточных и коротких волн в атмосфере земли, в частности явление интерференции радиоволн.

Явление и н т е р ф е р е н ц и и возникает, когда до антенны приёмного устройства телеуправляемого объекта одновременно доходят волны от одного и того же передатчика, но идущие в атмосфере различными путями. Длина этих путей различна, и поэтому на месте приёма радиосигнала получается некоторая разность фаз между принятыми волнами. Если волны пришли в одинаковой фазе, получается усиление приёма, если же фазы неодинаковые, то будет наблюдаться ослабление слышимости. В том же случае, когда фазы радиоволн противоположны друг другу, интен-



сивность принятых радиосигналов может уменьшиться до нуля.

Ионизированный слой атмосферы непрерывно меняет своё положение, поэтому и путь, по которому проходят радиоволны, всё время изменяется. Это вызывает колебание фаз радиоволн в пункте приёма, а значит, и непрерывное колебание интенсивности принимаемых сигналов.

Распространение коротких радиоволн сопровождается так называемым радиоэхом, т. е. явлением многократного отражения волны от ионизированного слоя, при котором она может дать повторный, ложный сигнал и приёмник телеуправления неправильно выполнит передаваемое распоряжение.

Кроме того, на коротковолновые радиолинии связи сильно влияют атмосферные разряды и умышленные помехи, которые также могут дать неправильный сигнал. Помехи от грозových разрядов являются самыми мощными, и их трудно устранить.

Ультракороткие волны (УКВ) распространяются подобно лучам света прямолинейно. Это—большое преимущество ультракоротких волн, особенно в военной радиотехнике. Противнику трудно улавливать своей аппаратурой сигналы телеуправления на УКВ и мешать их приёму путём создания искусственных помех.

Для передачи команд телеуправления на УКВ вследствие концентрации всей излучаемой энергии по определённом направлению требуется небольшая мощность передающего устройства. Для надёжной телемеханической связи на УКВ достаточна мощность всего в несколько ватт.

Однако и УКВ-линия также обладает одним крупным недостатком. Всякое препятствие на пути распространения ультракоротких волн срывает передачу сигнала телеуправления. Достаточно на пути УКВ-луча появиться какому-либо непроницаемому для УКВ предмету, как волны отразятся от него и приёмник не получит переданного ему сигнала телеуправления.

Кроме того, применять ультракороткие волны для управления на далёком расстоянии невозможно вследствие кривизны земной поверхности. Правда, существует один способ, который позволяет обойти эти две особенности применения ультракоротких радиоволн.

Это—помещение УКВ-передатчика на большой высоте. Тогда направленный УКВ-луч попадает непосредственно

в приёмник. Вначале УКВ-радиолинии работали на волнах порядка 0,5—3 м. В дальнейшем техника радиоуправления перешла к дециметровому и сантиметровому диапазонам. Это позволило увеличить число одновременно работающих установок, улучшить направленность передачи и уменьшить размеры антенн.

Чем меньше длина волны, тем менее громоздкие антенны требуются для радиопередающей и радиоприёмной установок. Однако распространение весьма коротких радиоволн, длиной менее 3 см, затрудняется, так как капли влаги, находящиеся в воздухе, сильно поглощают энергию этих волн и рассеивают её.

В таблице электромагнитных волн (см. стр. 260) вслед за УКВ и дециметровыми волнами располагаются тепловые лучи с длиной от 100 до 10 микронов. Возможность использования этих лучей для телеуправления мало исследована и поэтому говорить о ней рано. Далее идут инфракрасные лучи с длиной волны от 10 до 0,76 микрона, затем красные, фиолетовые, ультрафиолетовые и т. д.

Из всех этих лучей для управления на расстоянии наиболее пригодны инфракрасные лучи. Передатчиком сигналов в этом случае служит прожектор, закрытый фильтром из чёрного стекла—марблита, который пропускает только инфракрасные лучи.

Движущимися механизмами можно управлять и посредством световых волн, а также с помощью звуковых или ультразвуковых сигналов по воде или по воздуху. Однако практическое значение для управления на расстоянии имеют главным образом радиоволны.

Из огромного числа систем радиоуправления, разработанных современной техникой, рассмотрим только наиболее простые схемы, чтобы получить общее представление об аппаратуре и о принципах её работы.

### **Управление на расстоянии водоплавающими объектами**

Опыты по управлению на расстоянии по радио проводились с сухопутными, водоплавающими и летающими объектами.

Много опытов было проведено с радиоуправляемыми моторными лодками, катерами и другими водоплавающими объектами.

В 1924 году в Италии радиоавтоматы для управления на расстоянии были установлены на одном из старых эсминцев. Этот эсминец прекрасно маневрировал, подчиняясь приказам, отдававшимся по радио, не имея на борту ни одного человека. Но у радиоэсминца был один большой недостаток. Он не только слушался своего «хозяина», но и любого другого, вздумавшего отдавать ему приказания по радио (этот радиоуправляемый корабль, как показали опыты, выполнял как свои, так и мешающие «команды» противника).

Радиопомехи также были одной из причин медленного внедрения радиотелеуправления.

Все усилия изобретателей и специалистов были направлены на то, чтобы сделать такую аппаратуру, на работе которой не сказывались бы помехи.

В 1927 году эта задача была решена французским инженером Шово. Сконструированную им аппаратуру радиоуправления и исполнительные механизмы установили на катере, предназначенном для несения дозорной службы. На корме катера были укреплены две мачты с натянутой между ними антенной.

Радиоаппарат для приёма сигналов управления был настроен на фиксированную длину волны. Команды по радио передавались в три приёма; первый сигнал—подготовка команды, второй—выполнение и третий—отмена команды.

Этот катер мог выполнять восемь команд: «ход вперёд», «поворот влево», «поворот вправо», «ход вперёд полный», «ход вперёд малый», «стоп», «зажечь прожектор», «выпустить торпеду». Капитан катера находился на берегу. Перед ним был расположен пульт управления.

Допустим, нужно повернуть катер влево. Командир нажимает кнопку с надписью «влево» и этим включает специальный автомат, который посылает кодированный радиосигнал. Соединённые с приёмником реле включаются в определённой комбинации, производя соответствующую команду подготовке. Но сама команда ещё не выполняется. Чтобы катер выполнил команду, нужно нажать кнопку с надписью «исполнение». При нажатии кнопки «исполнение» посылается только одна «точка» продолжительностью в десятую долю секунды. Этого промежутка времени вполне достаточно для включения исполнительного меха-

низма—маленького электродвигателя, поворачивающего руль.

Когда катер повернулся на угол, достаточный для выполнения данного манёвра, снова нажимают кнопку с надписью «исполнение».

При вторичном нажатии кнопки электрическая цепь выключается и останавливается электродвигатель, поворачивающий руль.

Использование одной и той же кнопки для исполнения и отмены команды чрезвычайно выгодно и из конструктивных и из тактических соображений. Предположим, что катеру дана какая-либо команда и в самый момент её передачи изменилась обстановка. Необходимо изменить решение и немедленно отменить переданную команду. Это сделать можно быстрее и безошибочнее, когда палец уже лежит на одной нужной кнопке.

Техника управления механизмами на расстоянии по радио развивалась с каждым днём. Вскоре от опытов с небольшими судами и с катерами перешли к управлению по радио большими военными кораблями. Специальных радиоуправляемых судов не строили, а использовали военные корабли устаревших типов. Один из таких линкоров, дредноут «Айова», американцы переделали в радиоуправляемый корабль. Его котельные установки отапливались углём. Перевести угольные топки на автоматическую работу было трудно. Поэтому их переделали на отопление нефтью. Топки котлов с нефтяным отоплением легко поддавались автоматизации.

Все механизмы для управления кораблём (рычаги, рукоятки, штурвал и т. п.) были соединены через зубчатые передачи с небольшими электродвигателями (серводвигателями), которые заменяли собой руки людей, управляющих ходом корабля. Каждый такой серводвигатель можно было пустить в ход и заставить вращаться вправо или влево или остановить при помощи радиосигналов.

Радиолинкор выполнял девять команд: «ход вперёд», «ход назад», «быстрее», «медленнее», «поворот влево», «поворот вправо», «стой», «гудок», «зажечь сигнальные огни».

Первые опыты с этим линкором были проведены ещё в 1923 году. Два года изучали инженеры работу радиолинкора и совершенствовали его приборы.

В 1926 году другой большой корабль—«Северная Дакота» (США)—был оборудован приборами радиоуправле-

ния. Этот корабль выполнял тридцать различных команд, передаваемых по радио. Он был использован в качестве подвижной мишени для учебной артиллерийской стрельбы.

Управление пловучей мишенью велось с небольшого корабля—эсминца. На нём была установлена радиопередающая станция и кнопочный пульт управления. Над палубой пловучей мишени между мачтами были укреплены три радиоантенны. Две из них (кормовая и носовая) служили для радиоуправления кораблём. Антенна, находящаяся в центральной части корабля, была предназначена для обычной радиосвязи. Эта пловучая мишень выполняла по радио десятки различных команд и могла маневрировать непрерывно в течение 4—5 час., не имея ни одного человека на борту.

Радиоуправляемый броненосец «Церинген», построенный в Германии, выполнял более ста пятидесяти команд. «Церинген» мог, кроме того, окутывать себя дымовой завесой, зажигать сигнальные огни, включать прожекторы и управлять ими, автоматически выпускать сигнальные ракеты, если корабль получит какое-нибудь существенное повреждение в результате прямого попадания артиллерийского снаряда. В различных местах корабля была установлена автоматическая аппаратура для тушения пожаров.

В 1928 году ещё один из устаревших крейсеров был также превращён в пловучую мишень, управляющуюся по радио. Это была не пассивная мишень, которая могла защищаться лишь маневрированием, а самый настоящий боевой корабль.

Управляемый по радио корабль, подчиняясь командам, передававшимся по радио с поста управления, сам давал артиллерийские залпы из бортовых орудий, выполнял довольно сложные манёвры, меняя курс, скорость хода и т. д.

Об управлении военными кораблями, на борту которых нет судовых команд, думали и раньше. Но практически эту идею оказалось возможным реализовать только в связи с достигнутыми успехами в области централизованного управления кораблём.

Системы централизованного управления кораблями развивались и совершенствовались одновременно с развитием строительства кораблей-гигантов. В современном крупном корабле управление всеми его многочисленными механизмами настолько сложно и многообразно, что оно

может быстро и чётко осуществляться только при помощи централизованной системы управления.

В одном месте, на центральном посту, сосредоточиваются командные приборы и отсюда производится управление всеми многочисленными механизмами боевого корабля.

Только такой автоматизированный корабль, на котором работают механизмы, управляемые нажатием кнопок с центрального пункта, может быть приспособлен для управления по радио.

Каким же образом производится управление кораблём по радио? Схематически, в общем виде, система радиоуправления у мощных кораблей такая. Каждая рукоятка управления, каждый рычаг, которые раньше поворачивались вручную, приводятся в движение специальными электродвигателями небольшой мощности—серводвигателями и следящими системами, уже известными нам из предыдущего.

Пуск в ход и регулирование серводвигателей производится реле и усилителями, соединёнными с радиоустройством, воспринимающим сигналы управления.

Наряду с системой внешнего управления на радиоуправляемых кораблях остаётся и система внутреннего автоматического управления. В эту систему входит, в частности, автоматический рулевой, сходный с самолётным автопилотом. В этом автоматическом устройстве используется гироскоп (волчок), стремящийся сохранить своё положение в пространстве.

Если на шкале гироскопического прибора установить контакты, которые будут включаться при отклонениях корабля от заданного курса, то через реле и усилители можно привести в движение небольшой электродвигатель. Этот двигатель, соединённый с передаточным механизмом, может воздействовать на руль.

Изменяя положение контактов при помощи другого двигателя, управляемого по радио, можно менять курс корабля.

### **Управление самолётами по радио**

Мысль о возможности управления самолётами по радио была высказана ещё в 1903 году, но первые опыты с радиоуправляемой моделью самолёта были проделаны лишь через шесть лет.

Летом 1909 года в США большая модель самолёта, подчиняясь командам, передававшимся с земли по радио, подня-

лась в воздух, сделала несколько манёвров над морем и благополучно опустилась на свой аэродром.

В следующем году опыты по управлению самолётами на расстоянии были повторены и также имели большой успех. Год за годом по мере усовершенствования передающей и приёмной радиоаппаратуры улучшались и конструкции самолётов, управляемых по радио.

В 1918 году один из французских радиоуправляемых самолётов пробыл в воздухе около часа. Пройдя по сложному пути более ста километров, самолёт без пилота благополучно вернулся на свою базу.

В 1922 году проводились удачные опыты радио-телемеханического управления тяжёлым бомбардировщиком. Управление велось с другого самолёта, следовавшего на некотором расстоянии от бомбардировщика.

В 1928 году был проведён опыт управления на расстоянии тяжёлым самолётом, который пролетел в общей сложности около 1000 км по замкнутому маршруту, совершил несколько виражей над аэродромом и возвратился к месту взлёта, благополучно совершив посадку.

Радиоуправляемые самолёты по сигналам с аэродрома поднимались в воздух, самостоятельно совершали полёт по заданному на карте маршруту и возвращались обратно на свои базы.

В феврале 1938 года на Крайдонском аэродроме в Англии были проведены испытания уже целой эскадрильи управляемых по радио самолётов, которые поднимались в воздух, набирали высоту, ложились на заданный курс, выполняли фигуры высшего пилотажа и приземлялись.

Аппаратура радиоуправляемого самолёта состоит в основном из четырёх различных групп приборов:

1. Приборы, производящие подъём самолёта с аэродрома в воздух.

2. Приборы для автоматического поддержания устойчивого равновесия самолёта в воздухе за всё время его полёта.

3. Приборы, осуществляющие управление самолётом по радио в момент нахождения машины в воздухе.

4. Приборы, производящие посадку самолёта на аэродром.

Существенной частью прибора для автоматического взлёта является измеритель скорости самолёта относительно воздуха.

Когда мотор самолёта начинает работать, самолёт приходит в движение по земле. Когда достигается нужная скорость, специальный прибор автоматически ставит рули высоты в необходимое положение и радиоуправляемый самолёт отрывается от земли.

Прибор, автоматически обеспечивающий устойчивое равновесие радиоуправляемого самолёта в воздухе, состоит из нескольких гироскопов, оси которых располагаются в трёх взаимно перпендикулярных направлениях. Роль гироскопов выполняют быстро вращающиеся роторы небольших электродвигателей. Они делают в минуту до двадцати тысяч оборотов и более. Ось каждого гироскопа, приведённого в быстрое вращение, как мы об этом уже говорили раньше, стремится сохранить неизменное положение в пространстве.

Каждый гироскоп закрепляется в кардановом подвесе, который даёт оси волчка необходимую свободу. Стоит только корпусу самолёта повернуться влево или вправо или наклониться, как положение корпуса относительно направления осей вращения гироскопов изменится и рычаг того или другого гироскопа замкнёт электрические контакты.

Контакты включают те или иные серводвигатели, которые воздействуют на органы управления радиосамолётом. В результате самолёт сохранит заданное положение.

Радиоприборы для управления самолётом в полёте ничем, по существу, не отличаются от радиоаппаратуры, применяемой для управления сухопутными и морскими объектами.

Команда в простейшем случае выполняется в три приёма. Сначала идёт подготовка (перемещение контактного рычажка распределителя в нужное положение), затем исполнение (замыкается цепь соответствующего серводвигателя) и, наконец, прекращение команды (приборы возвращаются в исходное положение).

Посадка радиоуправляемого самолёта—более сложный манёвр, чем взлёт. При автоматической посадке самолёт должен «почувствовать» приближение земли, чтобы успеть во-время выключить мотор и сманеврировать рулями.

Было разработано много приборов, осуществляющих автоматическую посадку самолёта. Одна из простейших конструкций такова. Перед посадкой даётся сигнал по радио. Особый аппарат выпускает из самолёта канатик длиной в несколько метров. Прикосновение конца этого



канатика к поверхности земли воздействует на электрические приборы, помещённые в самолёте, которые выключают мотор и переводят рули высоты в положение, необходимое для посадки.

Существует множество и других более сложных (но и более совершенных) чисто радиотехнических устройств для автоматической посадки радиосамолётов.

Радиоуправление облегчает полёты на большой высоте. Радиоуправляемый самолёт не нуждается в герметических кабинах, которые усложняют и удорожают конструкцию, и в запасе кислорода; вес самолёта при этом облегчается, а продолжительность полёта увеличивается.

На больших высотах воздух чрезвычайно разрежён, сопротивление его движущемуся самолёту резко уменьшается, что даёт возможность развивать огромные скорости. Высотные полёты радиосамолётов могут быть применимы, например, для быстрой переброски на огромные расстояния почты, различных грузов и т. д.

Полёты, связанные с риском для жизни, как, например, научные исследования верхних слоёв атмосферы, испытание новых конструкций летательных аппаратов и т. д., могут осуществляться самолётами, управляемыми по радио.

Применение аппаратуры радиоуправления к реактивным самолётам даёт возможность проводить опыты с высотными ракетными аппаратами и наладить сообщения с использованием их колоссальных скоростей в высоких слоях атмосферы.

Управляемые на расстоянии по радио реактивные самолёты могут иметь большое научное значение для изучения распространения радиоволн за пределами ионизированного слоя атмосферы. Посредством радиоуправляемого самолёта можно также осуществлять аэрофотосъёмку местности. Радиоуправление поможет ближе подойти к решению вопроса о создании межпланетных кораблей.

Если на управляемом по радио самолёте установить телевизионную аппаратуру и связать её с командным пунктом радиолинией, то оператору, управляющему воздушным кораблём, будет легко следить за полётом. Применение телевидения чрезвычайно облегчает управление самолётами по радио.

В последнее время радиоуправляемые самолёты в ряде стран снабжаются установками, передающими изображение на экран ведущего самолёта—матки.

В войну 1941—1945 годов немцы использовали автоматические и радиотелемеханические устройства в реактивных самолётах-снарядах и в ракетах дальнего действия. Разработкой этих устройств они занимались ещё с 1933 года.

Известны три типа ракет дальнего действия, существенно отличающихся друг от друга. Одной из таких ракет является ракета Фау-1. Самолёт-снаряд Фау-1 был применён немцами против Англии в июне 1944 года. Этот снаряд приводится в действие воздушно-реактивным двигателем; полёт его стабилизировался автоматически действующими гироскопическими приборами. В носовой части самолёта-снаряда помещаются ветрянка для вращения счётчика оборотов (лага) и магнитный компас, затем идут отсеки, в которых размещено взрывчатое вещество (1 т). В средней части самолёта-снаряда расположены бак ёмкостью 600 л с жидким горючим и два сферических бака со сжатым до 150 атмосфер воздухом. В хвостовой части находятся автоматические приборы стабилизации и управления.

Воздушно-реактивный двигатель размещается над хвостовой частью самолёта. Он состоит из камеры сгорания, промежуточной конической трубы и сопла. В передней части камеры сгорания расположена решётка с многочисленными отверстиями, которые под действием пружин плотно закрыты металлическими пластинками, открывающимися только внутрь камеры.

В тот момент, когда давление встречного воздушного потока больше давления внутри камеры, пластинки, прикрывающие отверстия решётки, открываются и впускают внутрь порцию воздуха. Этот воздух смешивается с горючим (бензин), которое автоматически подаётся в камеру сгорания сжатым воздухом из сферических баков.

Зажигание, как и в обычном авиационном двигателе, производится электрической свечой.

При сжигании порции горючего давление в камере повышается и пластинки закрывают решётку, а горячие газы вытекают через сопло двигателя.

Этот процесс автоматически повторяется с частотой около 45 циклов в секунду. Средняя скорость полёта самолёта-снаряда 580 км в час при дальности 240—280 км.

Самолёты-снаряды запускались со специальных катапульт сложной конструкции длиной около 50 м. Катапульты обеспечивали достаточную начальную скорость снаряда и задавали необходимое направление полёта.

В полёте заданный курс автоматически выдерживался магнитным компасом, расположенным, как уже говорилось, в носовой части самолёта-снаряда.

Это—не обычный компас. Он состоит из коробки, перегороженной упругой мембраной на две части. С обеих сторон мембраны через насадки подаётся сжатый воздух; нормально, когда курс самолёта-снаряда правильный, совпадающий с заданным при сбрасывании самолёта с катапульты, мембрана находится в нейтральном положении.

При отклонении самолёта-снаряда от заданного курса (под действием силы ветра или от других причин) магнитная стрелка компаса, перекрывает входное отверстие одной из насадок. От этого давление воздуха на мембрану с одной стороны уменьшится, мембрана прогнётся и замкнёт электрический контакт. Этот контакт включает питание соленоида, воздействующего на главный гироскоп автопилота, который и выправляет курс самолёта-снаряда. Другие два гироскопа автопилота стабилизируют полёт по другим осям.

Дальность полёта устанавливается счётчиком оборотов (лагом). Чем дальше пролетел самолёт-снаряд, тем больше оборотов сделает ветрянка, вращающая барабан счётчика. При достижении заданной дальности счётчик автоматически прекращает подачу топлива, поворачивает рули управления и самолёт-снаряд пикирует на цель.

Самолёт-снаряд Фау-1 автоматический, но не радиоуправляемый механизм. Ракета дальнего действия Фау-2 является управляемой. Она имеет двигатель, работающий на жидком горючем.

В головной части ракеты находится взрыватель, затем взрывчатое вещество. За взрывчатым веществом располагаются отсеки с гироскопами вертикали и горизонтали и с приборами управления. В середине тела ракеты расположены баки со спиртом и жидким кислородом.

В хвостовой части ракеты размещён реактивный двигатель, а снаружи вместо крыльев прикреплены четыре стабилизирующих плоскости с воздушными рулями, машинами для их привода и стержневыми антеннами. На пути истечения газовой струи из сопла находятся графитовые газоструйные рули.

Горючее состоит из 75% спирта и 25% воды и подаётся в камеру центробежным насосом. Эта смесь сгорает в ат-

мосфере кислорода, накачиваемого в камеру сгорания другим насосом. Центробежные насосы приводятся в движение паровой турбиной. Пар образуется при смешении в особом реакторе перманганата натрия и перекиси водорода.

При нормальной подаче пара реактивный двигатель развивает тягу в 25 тонн.

Зажигание горючего при пуске двигателя производится специальной воспламенительной установкой, которая вводится в камеру сгорания перед запуском ракеты.

Ракеты Фау-2 запускаются в вертикальном положении со специальных стартовых сооружений. Вначале ракета летит вертикально со скоростью 30 м в секунду. Затем (через четыре секунды) автоматическим прибором, воздействующим на рули управления, ракета поворачивается в плоскости стрельбы на угол  $45^\circ$  к вертикали. Полёт 12-тонной ракеты под действием реактивной силы работающего двигателя продолжается примерно 60 сек. Скорость при окончании горения составляет 1500 м в секунду, а высота полёта—30 км (стратосфера). В дальнейшем ракета двигается по инерции и примерно через 3,5 мин. с момента запуска (старта) достигает наивысшей точки полёта—90—100 км при дальности от места старта в 180 км. Затем начинается свободное падение ракеты на цель. Наибольшая дальность стрельбы Фау-2 около 300 км. Дальность полёта задаётся ракете при старте.

Время окончания горения при полёте ракеты строго контролируется, так как оно должно обеспечить прохождение ракетой определённого пути.

Применялись два способа определения момента окончания горения ракеты: с помощью автоматического интегрирующего прибора и посредством специальных радиустановок. Основной частью интегрирующего прибора являлась электрохимическая ячейка. Эта ячейка представляла собой небольшой сосуд с раствором ацетата серебра. В него были опущены две пластинки (электроды). От электрической батареи через подвижной контакт реостата ток подводился к ячейке.

Очень существенной частью всего этого устройства являлся подвижной контакт. Этот контакт был связан с массивным грузом, укреплённым на пружине, растяжение которой зависело от ускорения снаряда.

Передвижение груза на рейке реостата со шкалой в зависимости от деформации пружины служило мерой

величины ускорения. Чем больше было ускорение, тем сильнее растягивалась пружина под действием груза, передвигая контакт по реостату. От этого менялось сопротивление реостата и сила тока, проходящего через электрохимическую ячейку. Электрический ток разлагал раствор ацетата серебра и металлическое серебро оседало на одной из пластинок. Количество серебра, осаждённого из электролита, прямо пропорционально силе тока и времени его прохождения. Следовательно, оно пропорционально пути.

Прибор выключает двигатель по прохождении ракетой заданного расстояния. Подача топлива в ракету прекращается, и она продолжает дальнейший полёт как свободно летящий снаряд.

По другому способу полёт ракеты непрерывно регистрируется наземной радиостанцией. При достижении заданной точки с земли подаётся команда по радио, которая принимается бортовой радиоаппаратурой, выключающей подачу топлива в двигатель.

Когда выяснилось, что точность прицеливания снарядов Фау-2 мала, то была разработана система радиоконтроля курса этих ракет. Она получила название «ведущий луч». Эта система имеет вспомогательный характер и служит лишь для корректирования курса ракеты, устанавливаемого гироскопическим устройством.

Наземное оборудование системы «ведущий луч» состоит из двух станций, расположенных на расстоянии 20—30 км друг от друга. На одной из этих станций расположен радиопередатчик с двумя антеннами. Другая станция называется контрольной.

Передающая радиостанция, стартовая площадка, с которой производится запуск ракеты, контрольная радиостанция и мишень, по которой ведётся стрельба, расположены на одной прямой линии. Каждая антенна радиопередатчика излучает радиоволны, причём ось диаграммы излучения каждой антенны расположена под углом  $0,4^\circ$  к линии прицеливания (рис. 145).

В области запуска ракеты и в области контроля обе диаграммы излучения перекрывают друг друга. Передающая радиостанция работает в диапазоне частот от 42 до 64 мггц и имеет выходную мощность около 4 квт.

Особое автоматическое переключающее устройство подключает к передатчику поочерёдно то одну, то другую антенну.

Передатчик работает 0,01 сек. на левую антенну с частотой модуляции 5000 герц, а в следующую 0,01 сек. — на правую антенну с модулирующей частотой 7000 герц.

Радиоприёмное оборудование, установленное на ракете, состоит из антенны, расположенной в её хвостовой части, супергетеродинного приёмника с фиксированной настройкой на одну из 10 рабочих частот передатчика.

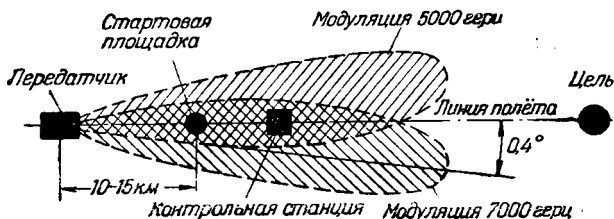


Рис. 145. Схематическое изображение системы «Ведущий луч» для управления ракетами типа Фау-2 по радио.

системы фильтров для разделения частотных каналов 5000 и 7000 гц и механизмов для управления рулями ракеты.

В том случае, когда ракета летит по правильному курсу, амплитуда сигналов с частотой 5000 и 7000 гц имеет одинаковую величину. При уклонении ракеты влево сигналы с частотой 5000 гц будут иметь большую амплитуду, что вызовет поворот рулей ракеты. При уклонении вправо от курса ббльшей будет амплитуда сигналов с частотой 7000 гц, что повлечёт за собой поворот рулей в другую сторону.

Эта система действует лишь в течение первой минуты полёта (при общей продолжительности полёта около 5 мин.), т. е. то время, когда ракета движется ускоренно под влиянием сжигания горючего. Дальнейший полёт происходит свободно, по законам баллистики. При дальности действия ракеты 200—300 км радиокорректировка позволяет получить точность попадания в цель  $\pm 1$  км.

Учёные работают над применением радиоуправляемых ракет для исследований атмосферы и стратосферы.

Автоматическая ракета может подняться на высоту более ста километров. Снабжённая соответствующими

приборами ракета позволяет изучать космические лучи, ультрафиолетовое излучение Солнца, определять содержание редких газов в воздухе, выяснить природу магнитных бурь и северных сияний и многое другое.

Русский учёный К. Э. Циолковский впервые в мире разработал принципы конструкции высотной ракеты.

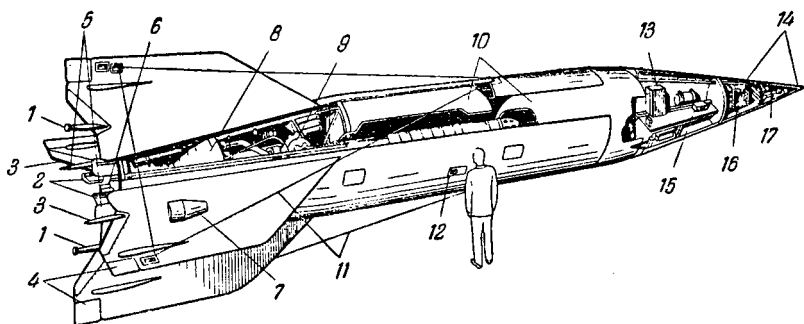


Рис. 146. Ракета типа Фау-2 для исследования верхних слоёв атмосферы:

1—антенны радиотелеизмерения; 2—графитовые (газовые) рули управления; 3—антенны выключения; 4—воздушные рули управления; 5—антенны управления по лучу; 6—газовые каналы; 7—спектрограф; 8—камера сгорания; 9—турбина и насос топлива; 10—резервуары с топливом; 11—ионосферная антенна; 12—фотокамера; 13—телеизмерительная аппаратура; 14—приборы для измерения температуры и давления; 15—приёмник сигналов управления; 16—электронное оборудование и батарея; 17—приборы для измерения космических излучений.

В настоящее время мечты великого русского учёного претворяются в жизнь.

Одна из ракет типа Фау-2, созданная для исследования верхних слоёв атмосферы трудами многих специалистов разных стран и применённая в США в 1946 году, показана на рис. 146. Наибольший интерес в ней представляют средства радиотелеизмерения. Этот пример приблизительно характеризует современные методы скоростного время-импульсного радиотелеизмерения с широким применением электроники<sup>1)</sup>.

Как же устроена и работает телеизмерительная система этой ракеты?

<sup>1)</sup> В радиотелемеханике широко используются также частотные и кодо-импульсные методы телеизмерения и телеуправления.

На ракете, запущенной со стартовой площадки, во время её полёта измеряются и передаются в наземный пункт следующие параметры: температура и давление в верхних слоях атмосферы, различные параметры космического излучения, свойства ионосферы, скорость, ускорение и высота полёта ракеты, температура оболочки ракеты в различных её частях и положение рулей управления.

Все эти параметры сначала преобразуются в соответствующие им величины напряжения постоянного тока, изменяющиеся в пределах от нуля до 5 в. Затем эти напряжения поочерёдно преобразуются в определённые интервалы времени между двумя кратковременными электрическими импульсами. Для нулевого значения напряжения интервал времени составляет 50 микросекунд, а для максимального значения напряжения (5 в) интервал времени равен 200 микросекундам. Для контроля точности работы в ракете установлены специальные эталонные датчики, которые регулярно, через определённые промежутки времени, автоматически включаются в преобразовательный блок вместо измерительных датчиков и подают стабильные напряжения 0 и 3,5 в.

Система телеизмерения, применённая в ракете, рассчитана на поочерёдное включение 23 датчиков. После передачи всех 23 параметров следует пауза длительностью в 600 микросекунд, после которой вновь передаётся серия импульсов телеизмерения. Время общего цикла телеизмерения составляет 5200 микросекунд.

Данная система телеизмерения работает со скоростью 192 цикла в секунду. Иначе говоря, она позволяет передать 4416 параметров в секунду.

Радиопередатчик ракеты работает на ультравысокой частоте. Его частота равна тысяче мегагерц, что соответствует длине волны в 0,3 м. Длительность каждого засекающего импульса—0,8 микросекунды. Пиковая мощность (мощность в импульсе) радиопередатчика составляет 750 вт. В электронных схемах радиопередающей части системы используются сверхминиатюрные лампы, обычно применяемые в артиллерийских снарядах. Вес передающей части (кроме первичных измерительных приборов) составляет 68 кг, габариты—355×355×508 мм.

Ракета со стартовой площадки запускается вертикально вверх. Антенна радиоприёмника «следит» за положением ракеты в полёте. Дальность действия радиотелеизмери-



тельной системы составляет 160 км. При одном испытательном полёте эта система радиотелеизмерения действовала бесперебойно до тех пор, пока ракета не упала примерно в 20 км от места старта, достигнув высоты в 101,6 км.

Обратимся к схеме передающей части радиотелеизмерительной системы, показанной на рис. 147. Ритм работы

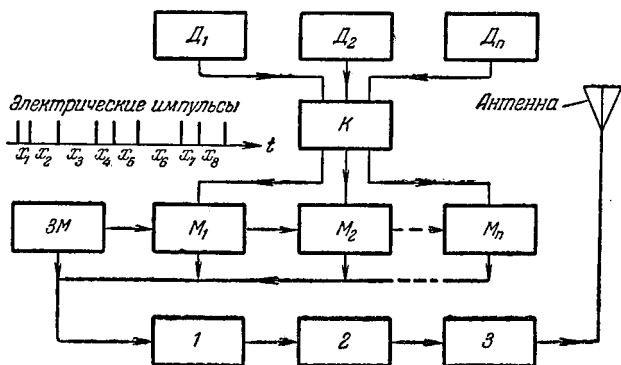


Рис. 147. Блок-схема передающей части радиотелеизмерительной системы:

$D_1, \dots, D_n$ —источники измеряемых напряжений (датчики);  $K$ —калибраторы;  $ZM$ —задающий мультивибратор;  $M_1, \dots, M_n$ —преобразовательные мультивибраторы; 1—вход общего коллектора; 2—модулятор; 3—радиопередатчик. Слева показана диаграмма импульсов с интервалами, соответствующими значениям передаваемых величин  $x_1, \dots, x_8$ .

системы задаётся мультивибратором—электронным генератором прямоугольных импульсов. Частота мультивибратора в точности равна частоте посылок полных серий измерительных импульсов (192 гц).

Импульсы от мультивибратора направляются по двум цепям. Одна цепь—к цепочке преобразовательных мультивибраторов  $M_1 \dots M_n$ . Их столько же, сколько датчиков. Вторая цепь—в общий коллектор 1 с модулятором 2. После конденсаторов каждый импульс прямоугольной формы отмечается в виде одного положительного импульса (для восходящей части волны) и одного отрицательного импульса (для спадающей части волны). Положительные импульсы не оказывают действия ни на первый мультивибратор  $M_1$ , ни на общий коллектор 1. Отрицательные же полуволны импульсов выполняют две функции: во-пер-

вых, они запускают первый мультивибратор  $M_1$ . Кроме того, они воздействуют на общий коллектор  $I$ , а вслед за ним и на модулятор  $2$  для передачи импульса начала отсчёта первой величины и всей серии.

Напряжения, соответствующие измеряемым величинам, подаются на сетки первых ламп мультивибраторов. Именно эти напряжения и определяют продолжительность переходного состояния каждого из мультивибраторов.

В результате действия первого мультивибратора образуется прямоугольный импульс, длительность которого пропорциональна значению первой измеряемой величины. Отрицательная часть этого импульса воздействует через конденсаторы на второй мультивибратор  $M_2$  и на общий коллектор  $I$ . Этим заканчивается первый отсчёт и начинается второй отсчёт. Далее процесс работы мультивибраторов повторяется. Таким образом, достигается последовательная работа цепочки мультивибраторов и посылка в общий коллектор и в модулятор серии измерительных импульсов. При этом каждый (кроме пограничных) импульс одновременно служит для отметки конца отсчёта одной величины и начала отсчёта второй величины. После срабатывания всей цепочки мультивибраторов система успокаивается и ожидает нового командного импульса от задающего мультивибратора. Так работает передатчик сигналов телеизмерения.

Структурная упрощенная схема приёмной части радиоизмерительной системы показана на рис. 148. Принятые направленной антенной импульсы поступают в радиоприёмник  $I$ , затем в усилитель телевизионного типа  $2$ . Из усилителя импульсы разветвляются по двум электрическим цепям. В первой цепи (вниз) серии импульсов регистрируются. Регистрация производится двумя способами: магнитным способом на стальной проволоке в проволочном регистраторе  $ПР$  и фотографическим способом при помощи электронного осциллографа  $O$  и узкоплечной кино-фотокамеры непрерывного действия  $\Phi_1$ . Эти способы записи являются резервными.

Во второй цепи (направо) производится обратное преобразование время-импульсных сигналов в соответствующие им напряжения и разделение принятых величин по отдельным измерительным каналам.

Одной из основных частей приёмного устройства является так называемый дискриминатор.

Дискриминатор препятствует прохождению всех нерабочих импульсов, т. е. импульсов непредусмотренной длительности. Рабочие же импульсы он пропускает. Они поступают на генератор импульсов синхронизации 4, а также через инвертор 5, на цепочку преобразовательных мультивибраторов  $M$ . Генератор импульсов синхронизации действует аналогично задающему мультивибратору передающей части, т. е. он подаёт начальные импульсы серий (свое-

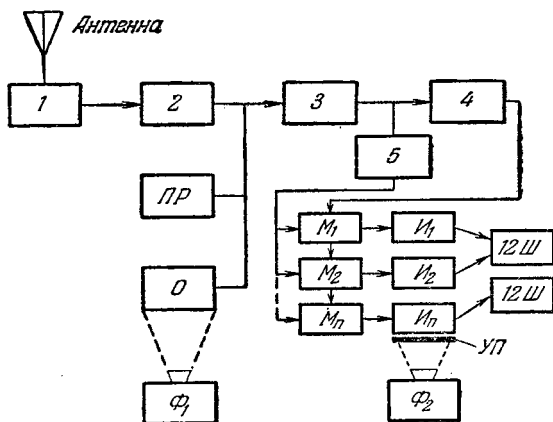


Рис. 148. Блок-схема приёмной части радио-телеизмерительной системы:

1—радиоприёмник; 2—усилитель телевизионного типа; 3—дискриминатор (избиратель) ширины импульсов; 4—генератор импульсов синхронизации; 5—инвертор, преобразователь полярности; ПР—проводочный (магнитный) регистратор; О—электронный осциллограф; Ф<sub>1</sub>—фотокамера для съёмки с экрана осциллографа;  $M_1, \dots, M_n$ —преобразовательные мультивибраторы;  $I_1, \dots, I_n$ —измерительные цепи; 12Ш—12-шлейфовые магнитоэлектрические осциллографы; УП—панель со стрелочными указывающими приборами, Ф<sub>2</sub>—фотокамера для съёмки показаний стрелочных приборов.

образная старт-стопная синхронизация), открывая этим начало очередной гаммы измерительных преобразований.

Начальный импульс каждой серии включает первый преобразовательный мультивибратор  $M_1$ . Дальнейшая работа цепочки мультивибраторов происходит примерно так же, как и в передающей части. Каждый очередной импульс возвращает один из мультивибраторов в исходное состояние. При этом тотчас же запускается следующий мультивибратор. Так срабатывают один за другим все мультивибраторы.

Измерительные цепи *И* состоят из конденсаторов и катодных вольтметров, измеряющих разности потенциалов на обкладках этих конденсаторов. На время действия каждого мультивибратора конденсатор соответствующей измерительной цепи присоединяется к источнику постоянного тока. Напряжение источника тока строго постоянное, стабильное. Конденсатор заряжается до разности потенциалов, соответствующей промежутку времени между двумя соседними импульсами. Таким образом, каждая величина оказывается выделенной на индивидуальный измерительный канал и преобразованной в смысле обратного перехода от масштаба времени к масштабу напряжения.

Каждый катодный вольтметр работает на свой шлейф осциллографа (в блоках *12III*) и на свой стрелочный прибор (на панели *УII*). Шлейфами осциллографов производится запись кривых на фотобумаге. Визуальный отсчёт текущих значений телеизмеряемых величин производится по стрелочным приборам. Кроме того, имеется кино-фотокамера  $\Phi_2$ , посредством которой можно производить киносъемку кадров всей панели с указывающими приборами *УII*.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях социалистического народного хозяйства автоматика и телемеханика приобретают особое значение, поднимая организацию производства на качественно новый, более высокий уровень.

Частичная автоматизация производственных процессов (автоматический контроль, автоматическая защита и т. д.) перерастает в свою высшую форму — в комплексную автоматизацию производства, при которой производственный процесс автоматизируется от начала до конца.

При комплексной автоматизации устройства автоматического управления, контроля, регулирования и защиты связывают производственные установки в гармоническом единстве и дают наибольший технико-экономический эффект.

Именно комплексную автоматизацию и имел в виду Карл Маркс, когда он говорил об автоматической, непрерывно действующей системе машин, которая «выполняет все движения, необходимые для обработки сырого материала,

без содействия человека, и нуждается лишь в контроле со стороны рабочего...»<sup>1)</sup>).

К. Маркс, характеризуя машинное производство, указывал, что при этом каждая машина «...доставляет для непосредственно следующей за нею сырой материал, и так как они все действуют одновременно, то продукт непрерывно находится на различных ступенях процесса своего образования, постоянно переходит из одной фазы производства в другую... Комбинированная рабочая машина, представляющая теперь расчленённую систему разнородных отдельных рабочих машин и групп последних, тем совершеннее, чем непрерывнее весь выполняемый ею процесс, т. е. чем с меньшими перерывами сырой материал переходит от первой до последней фазы процесса, следовательно, чем в большей мере передвигается он от одной фазы производства к другой не рукою человека, а самим механизмом»<sup>2)</sup>.

Было бы неправильно думать, что комплексная автоматизация означает простую сумму технических средств автоматики и телемеханики (аппаратуры автоматического управления, регулирования, защиты, контроля и т. д.) при сохранившейся технологии производства и старых конструкциях машин и механизмов. Дело обстоит иначе. При комплексной автоматизации коренным образом перестраивается весь технологический процесс, создаются совершенно новые машины—орудия, специально приспособленные для работы в автоматическом комплексе. Меняются не только машины, но и организационные формы предприятия, на котором они устанавливаются.

При комплексной автоматизации многие цехи завода сливаются в единую непрерывную линию, как этого часто требует новый технологический процесс.

Комплексная автоматизация означает переход от кустарных, эмпирических методов к строго научным методам производства.

В СССР комплексная автоматизация нашла самую подходящую почву для своего бурного развития. Ещё в период первых пятилеток была осуществлена автоматизация ряда непрерывных производств. Так, например,

---

<sup>1)</sup> К. Маркс и Ф. Энгельс, соч., т. XVII. Партиздат ЦК ВКП(б), 1937, стр. 419.

<sup>2)</sup> К. Маркс, Капитал, т. I, изд. 1932, стр. 287—288.

были построены полностью автоматизированные гидроэлектростанции и насосные станции на канале имени Москвы. Были полностью автоматизированы тяговые подстанции, питающие энергией электрические поезда Московского метрополитена и других электрифицированных железных дорог.

В эти же годы была осуществлена комплексная автоматизация загрузки доменных печей на Магнитогорском металлургическом комбинате имени Сталина, на Кузнецком металлургическом комбинате имени Сталина и на других металлургических предприятиях.

Значительные успехи по комплексной автоматизации достигнуты на ряде нефтеперерабатывающих производств, в текстильной, бумагоделательной, в пищевой (например, хлебозаводы-автоматы) и в химической промышленности.

В химической промышленности были сооружены целые заводы со сложным технологическим процессом, работающие автоматически, почти без участия человека.

Были построены автоматический завод для регенерации химических реагентов, применяемых в кожевенной промышленности, автоматический завод искусственного шёлка, синтетического каучука и многие другие.

Комплексная автоматизация производства в химической промышленности позволяет сократить потери и порчу сырья на заводах, продлить срок службы оборудования, а главное, освобождает людей от труда в условиях, приносящих здоровью вред. Дело в том, что рабочим на химических производствах иногда приходится работать в опасном соседстве с различными ядовитыми веществами. Но им приходит на помощь автоматизация. Рабочий уже не дышит вредными газами, он находится в светлой просторной кабине и управляет на расстоянии автоматическими машинами. На пультах управления, на световых сигнальных указателях рабочий видит, как работают машины-автоматы и, когда это требуется, вмешивается в их работу, нажимая нужные кнопки или поворачивая рычаги. Многие машины-автоматы сами себя регулируют.

Труд рабочего, управляющего такими машинами, особенно эффективен.

В текстильной промышленности (в частности, хлопчатобумажной) автоматизация также нашла широкое применение. Автоматически производится подсчёт выработанных тканей, контроль длины ошлифованной основы, счёт

катушек ниток; определяется вес сырья, полуфабрикатов и готовой продукции (кип хлопка, шерсти, пряжи, ткани). Автоматически по графику пускается в ход оборудование, учитывается время работы и простоя производственных машин и энергоагрегатов. Автоматически регулируется число оборотов двигателей производственных машин, температура воздуха, воды, шлихты, растворов в отделочном производстве и отходящих газов. Автоматически регулируются давление воды, пара, воздуха, масла, шлихты в шлихтопроводе, каландровых валов и т. д. Автоматически регулируется влажность воздуха, опшлихтованной основы, пряжи при сушке после окраски, ткани в процессах её отделки. Автоматически контролируются: расход жидкостей, пара, газов, сжатого воздуха, уровень воды, масла и растворов, цвет пряжи и ткани, ровность холстов и ленты, вязкость масел и шлихты; интенсивность циркуляции жидкости, чистота конденсата, концентрация кислот, красителей и щелочей, механическое натяжение основы, нитей и тканей.

Кроме того, в текстильном производстве применяется автоматическая сигнализация при опасных температурах, автоматическое пожаротушение, блокировка опасных по травматизму агрегатов, автоматические остановы машин при обрыве полуфабриката, автоматическое удаление металлических предметов, попавших случайно в шерсть или в хлопок и т. д.

Широкое применение нашла комплексная автоматизация и в металлургии. На многих доменных печах установлены мощные автоматизированные механизмы, которыми управляет небольшое число людей.

Механизация и автоматизация вносит в работу металлургического предприятия чёткий ритм, точную согласованность всех производственных операций.

Начиная от загрузки доменной печи и кончая выпуском чугуна, всюду работают полуавтоматические и автоматические машины и механизмы.

Уже в третьем году послевоенной пятилетки почти все советские домы были механизированы и частично автоматизированы.

В дальнейшем в управлении доменными печами широко будет использована фотоэлектронная автоматика. Будут установлены автоматические ограничители хода доменного цоцёмника, основанные на применении фотоэлементов.

Фотореле будет применено для контроля и регулирования степени заполнения бункеров. Будет ещё более усовершенствована система автоматической регулировки дутья, горения в кауперах, улучшена автоматика переключения кауперов и управления вспомогательными механизмами.

Усовершенствованная автоматическая аппаратура позволит ещё более повысить производительность доменных печей, и улучшить качество выплавляемого металла.

Применение приборов теплотехнического контроля и автоматических регуляторов в мартеновских печах повышает производительность агрегатов, даёт возможность получить значительную экономию топлива и точно соблюдать заданный режим. Благодаря этому уменьшается угар и брак металла, а также удлиняется срок службы агрегатов.

Экономическая эффективность применения автоматики в мартеновских печах выражается в уменьшении расхода топлива и огнеупоров, в увеличении производительности печи и удлинении её кампании.

Только на одном Магнитогорском заводе приборы автоматического регулирования и контроля дали экономию 200 тысяч рублей в год на одну мартеновскую печь.

На московском заводе «Серп и молот» автоматизация перекидки клапанов в мартеновском цехе № 1 снизила расход топлива на 15% и увеличила производительность печей на 5,5%.

Автоматическое регулирование так называемой защитной атмосферы в термических печах уменьшает количество окалины, что позволяет дополнительно сэкономить десятки тысяч тонн металла в год. Затраты же на установку регуляторов и приборов окупаются в течение одного года.

Степень оснащения автоматическими приборами сталелитейного агрегата зависит от его особенностей, а именно: от его конструкции, назначения, размеров, производительности, рода топлива, типа горелок и вспомогательных устройств и т. п.

В мартеновских печах, например, автоматически регулируются: 1) температура в рабочей камере печи; 2) температура подогрева воздуха и газа (в рекуперативных или регенеративных печах); 3) температура дымовых газов перед рекуператором и при выходе из него; 4) температура



подогрева мазута; 5) количество топлива и воздуха; 6) соотношение «топливо—воздух»; 7) давление в камере печи; 8) давление в печном агрегате и в борове перед дымовой трубой; 9) состав продуктов горения; 10) перекидка клапанов; 11) падение давления воздуха и отсечка газа.

Автоматизация позволяет упростить механическую часть машин и механизмов прокатного производства благодаря применению много моторных приводов.

Машины «дробятся» на ряд отдельных механизмов, которые приводятся в действие самостоятельными электродвигателями и связываются между собой через устройства автоматики и телемеханики. Это делает металлургические агрегаты более гибкими, т. е. освобождает их от механических связей друг с другом, органически сливает двигатели с машинами в одно целое.

Для автоматического управления и контроля процесса прокатки применяются различные автоматические приборы, реагирующие на напряжение, на силу тока, на излучаемое тепло, на свет (фотореле) и даже на звук.

Повышение производительности прокатных станов при высокоскоростном режиме раньше ограничивалось физическими возможностями операторов, труд которых всё-таки был тяжёл и однообразен. Ручной способ управления станами иногда приводил к неточностям и ошибкам, вызывал брак, простои и потери темпа прокатки. Теперь на многих заводах Советского Союза осуществлена комплексная автоматизация прокатных станов.

Автоматизация прокатных станов не только снижает брак, увеличивает производительность, облегчает труд рабочего и значительно экономит электроэнергию, но одновременно высвобождает большое количество рабочих для более квалифицированной работы.

В первую очередь комплексная автоматизация была осуществлена на производствах с непрерывным получением продукта. В производстве штучных изделий, как, например, в машиностроительной промышленности, вначале преобладала частичная автоматизация. Комплексная автоматизация затронула эти области производства несколько позже.

Одним из этапов автоматизации процессов обработки металлов является создание многопозиционных агрегатных станков. На агрегатных станках автоматически про-

изводится одновременное выполнение нескольких различных операций металлообработки (сверление, фрезерование, строгание и т. д.). Это—грандиозные станки-комбайны, обладающие высокой производительностью, при полной автоматизации работы. Чем разнообразнее и многочисленнее операции обработки, которые выполняет станок-комбайн, тем сложнее его конструкция.

Однако во многих случаях целесообразнее использовать менее сложные станки и даже отдельные части этих станков (так называемые «головки»), установленные в одну поточную, непрерывную линию.

Переходным этапом к созданию автоматических линий станков были непрерывно-поточные линии. На непрерывно-поточных линиях станки были установлены в ряд, в линию, друг за другом, и обрабатываемые детали с первого станка до последнего транспортировались без возврата и без «петель». Путь детали, таким образом, был наиболее коротким. Ручные операции на непрерывно-поточных линиях были механизированы.

В автоматической линии станков автоматизирован весь процесс обработки деталей, транспортировки их с одного станка на другой, установка, фиксация, зажим, освобождение от зажимов после обработки, а также пуск и останов станков при достижении заданного размера деталей.

Отдельные звенья и механизмы автоматической линии станков работают с точнейшей согласованностью. Согласованность достигается автоматической блокировкой и централизованным управлением всей линией.

Контроль за работой линий также полностью автоматизирован.

Вслед за автоматическими поточными линиями станков в СССР были построены цехи-автоматы. В цехах-автоматах почти нет людей. Всего лишь несколько человек управляют огромным цехом с установленными в нём автоматическими станками.

От цехов-автоматов советские люди переходят к строительству целых автоматических заводов, где все операции обработки изделий совершаются автоматически. Так, например, в СССР построен первый в мире завод-автомат, изготавливающий поршни для двигателей грузовых автомашин ЗИС-150 и ГАЗ-АА.

На этом заводе руки человека почти не прикасаются ни к станкам, ни к заготовкам поршней за всё время их об-

работки. С одного конца завода-автомата подаются слитки металла, а с другого конца выходят готовые и уже запактованные в картонные коробки автомобильные поршни.

Всё, что совершается в промежутке между поступлением металла и получением совершенно готового изделия, делается автоматически.

В этом замечательном сооружении работают сотни автоматических аппаратов, о принципах устройства и действия которых было рассказано в предыдущих главах.

Все агрегаты завода управляются автоматически—посредством очень тонкой и точной электроаппаратуры. Свыше полутора тысяч всевозможных электрических аппаратов обслуживают завод-автомат.

Включение электродвигателей, приводящих в действие станки, транспортёры и другие механизмы, осуществляется с помощью различных реле, контакторов, магнитных пускателей, микровыключателей.

Эта многочисленная аппаратура контролирует и регулирует не только агрегаты завода, но и сама себя. Если электрический аппарат, управляющий каким-нибудь агрегатом, разладится, то специальные «искатели повреждений» тотчас установят причину неисправности и просигнализируют об этом, а в некоторых случаях сами тут же на ходу и устранят неполадки.

Электроаппаратура, управляющая всей работой завода-автомата, отличается исключительной точностью. Так, например, специальный прибор, который управляет дозатором литейного автомата-реле времени, задаёт ему цикл работы с точностью в 0,05 сек.

Загрузкой плавильной печи управляет шаговый искатель—прибор, лежащий в основе схем автоматических телефонных станций. Этот исключительно простой и вместе с тем надёжно действующий прибор здесь играет роль счётного реле. Он подсчитывает слитки металла, подаваемые транспортёром в плавильную печь.

Если нужно быстро остановить тот или иной станок, срабатывает реле торможения. За временем работы механизмов завода-автомата «следит» особое реле темпа. Оно не допускает никаких отклонений работы агрегатов от заданных режимов времени.

Автоматическая аппаратура управляет всеми агрегатами завода-автомата, начиная от литейной машины и кончая упаковочной. Электроавтоматические устройства

соединены (сблокированы) между собой таким образом, что каждая произведённая операция вызывает за собой следующую.

Рабочих на заводе-автомате во много раз меньше, чем в цехах обыкновенных заводов. В некоторых цехах автомобильных заводов, изготавливающих поршни, работают в трёх сменах до 140 человек, а продукции они изготовляют вдвое меньше, чем завод-автомат. Производительность труда на заводе-автомате возрастает в девять раз по сравнению с обычным заводом, а годовая экономия достигает многих миллионов рублей. Завод-автомат, работая с точностью часового механизма, позволяет экономить топливо, сырьё и электроэнергию.

Автоматический завод—это прообраз будущих заводов коммунистического общества.

Велики технико-экономические и организационные преимущества комплексной автоматизации, этой высшей формы машинного труда, по сравнению с обычным производством.

При комплексной автоматизации многие миллионы советских людей переходят от ручного труда к управлению машинами, создаётся новая гигантская армия специалистов, к которым даже трудно применить слово рабочий в обычном его значении,—это специалисты, в совершенстве изучившие машину, которая работает за них во много раз быстрее и производительнее. Каждый рабочий становится как бы инженером порученного ему участка производства.

## ЛИТЕРАТУРА

### А. Научно-популярная литература

1. Воронов А. А., Автоматизация производственных процессов, Изд. «Знание», 1954.
2. Евдокимов П. И., Методы и системы многоканальной радиосвязи, Госэнергоиздат, 1952.
3. Егоров К. В., Автоматика и телемеханика, Гостехиздат, 1950.
4. Жигарев А. А., Электроника, Гостехиздат, 1951.
5. Ильин М., Завод-самоход, Детгиз, 1949.
6. Клементьев С. Д., Автоматическая телефонная станция, Связьиздат, 1951.
7. Клементьев С. Д. Фотоэлектронная автоматика, Досарм, 1950.
8. Клементьев С. Д., Чудо-машины, Госкультпросветиздат, 1952.
9. Коваленков В. И. и Храмой А. В., Автоматика и телемеханика в народном хозяйстве СССР, Госпланиздат, 1948.
10. Костыков Ю. В., Техника связи, Воениздат, 1953.
11. Логинов В. Н., Радиотелеуправление, Госэнергоиздат, 1951.
12. Максимов М. ., Телеизмерительные устройства, Госэнергоиздат, 1951.
13. Минаев Н. В., Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте (СЦБ), Трудрезервиздат, 1954.
14. Харкевич А. А., Автоколебания, Гостехиздат, 1953.
15. Этлин А. Е., Автоматический завод поршней, Трудрезервиздат, 1951.

### Б. Научно-техническая литература

1. Автоматизация и телемеханизация гидроэлектростанций. Сборник статей, Госэнергоиздат, 1950.
2. Бежанов Б. Н. и Бушуннов В. Т., Производственные машины-автоматы, Машгиз, 1953.
3. Браславский Д. А., Логунов С. С. и Пельпор Д. С., Расчёт и конструкция авиационных приборов, Оборонгиз, 1954.
4. Гинзбург С. А., Лехтман И. Я. и Малов В. С., Основы автоматки и телемеханики, Госэнергоиздат, 1953.

5. Горяинов О. А. и Райнес Р. Л., Техника телеуправления, Госэнергоиздат, 1954.
6. Гулько М. М., Автоматические линии станков, Машгиз, 1951.
7. Доманский Б. И., Введение в автоматику и телемеханику, Госэнергоиздат, 1950.
8. Ерофеев А. В., Электронные приборы теплового контроля и регулирования, Госэнергоиздат, 1951.
9. Жданов Г. М., Телеизмерение, часть I, Госэнергоиздат, 1952; часть II, Госэнергоиздат, 1953.
10. Казанский В. Е., Релейная защита, Госэнергоиздат, 1950.
11. Кондрашевский В. В., Автоматический контроль размеров деталей в процессе обработки, Оборонгиз, 1951.
12. Лессиевский В. Л., Автоматическое регулирование, Изд. АН СССР, 1946.
13. Михайлов В. А., Электронная автоматика в коммунальном хозяйстве, Изд. Мин. коммун. хоз. РСФСР, 1953.
14. Новосельцев Я. В. и Лебедев А. Н., Счётно-решающие устройства, Машгиз, 1954.
15. Соколов Т. Н. и Дружинский И. А., Автоматическое управление процессами копирования на металло-режущих станках, Машгиз, 1954.
16. Соловьёв И. И., Автоматизация энергетических систем, Госэнергоиздат, 1950.
17. Сотсков Б. С., Элементы автоматической и телемеханической аппаратуры, Госэнергоиздат, 1950.
18. Темников Ф. Е. и Харченко Р. Р., Электрические измерения неэлектрических величин, Госэнергоиздат, 1948.
19. Темников Ф. Е., Автоматические регистрирующие приборы, Машгиз, 1954.
20. Трапезников В. А., Городецкий И. Е. Петров Б. Н. и др., Автоматический контроль линейных размеров изделий, Оборонгиз, 1947.
21. Туричин А. М., Электрические измерения неэлектрических величин, Госэнергоиздат, 1954.
22. Чиликин М. Г., Общий курс электропривода, Госэнергоиздат, 1953.
23. Шаумян Г. А., Автоматы, Машгиз, 1952.
24. Шляндиц В. М., Элементы автоматики и телемеханики, Оборонгиз, 1954.

~~18177~~

~~И П Т И  
С У Б О Т О В А  
С Е Р И Я  
И З Д А Т Е Л С Т В О~~



Цена 5 р. 85 к.

Д1  
16213

ОНЗ. ЧИТ. З-  
НЕ ВЫДАЕТСЯ