

**Схемы АПВ
в электрических
сетях: использование
емкостного отбора
напряжения**

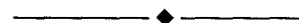
Практическое
пособие

МОСКВА
«ИЗДАТЕЛЬСТВО НЦ ЭНАС»

Ша

**СХЕМЫ АПВ
В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ:
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЕМКОСТНОГО
ОТБОРА НАПРЯЖЕНИЯ**

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ



Составители *Е.Г. Дорохин, Т.Н. Дорохина*

Под редакцией *Б.А. Алексеева*

Москва
«Издательство НЦ ЭНАС»
2002

УДК 621.316.57
ББК 31.27-05
С92

С92 **Схемы АПВ в электрических сетях: использование емкостного отбора напряжения: Практическое пособие / Сост. Е.Г. Дорохин, Т.Н. Дорохина; Под ред. Б.А. Алексеева. — М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002. — 80 с.: ил.**

ISBN 5-93196-164-X

Пособие содержит описание, технические данные и методику проверки устройств емкостного отбора напряжения от линий электропередачи, а также связанных с ними устройств контроля синхронизма, используемых в схемах автоматического повторного включения.

Для работников служб РЗА и наладочных организаций, занятых эксплуатацией и наладкой устройств РЗА линий электропередачи и распределительных устройств 110–220 кВ.

УДК 621.316.57
ББК 31.27-05

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| Предисловие | 4 |
| 1. Виды АПВ и условия их применения | 5 |
| 2. Устройства контроля синхронизма в оперативных цепях АПВ | 11 |
| 3. Условия допустимости АПВ | 15 |
| 4. Подключение устройств контроля синхронизма к первичным цепям | 18 |
| 5. Основное оборудование емкостных отборов | 24 |
| 6. Релейная аппаратура устройств контроля синхронизма | 35 |
| 7. Проверка и настройка аппаратуры | 49 |
| 8. Нетиповые решения устройств контроля синхронизма | 64 |
| Приложение. Форма протокола наладки емкостного отбора напряжения | 69 |
| Список литературы | 75 |

ПРЕДИСЛОВИЕ

В процессе наладки и эксплуатации устройств автоматического повторного включения (АПВ) составителям пособия пришлось решать следующие вопросы:

- каковы критерии исправности современных шкафов отбора напряжения;

- как подключить современные реле контроля синхронизма к старым схемам емкостного отбора напряжения;

- как подключить шкаф отбора напряжения (ШОН) к конденсатору связи с емкостью, не предусмотренной разработчиками ШОН;

- как увеличить диапазон срабатывания реле контроля синхронизма;

- как устранить повышенную вибрацию реле и уменьшить износ контактов.

Некоторые ответы мы нашли в нормативной и популярной технической литературе, другие – в конспектах, написанных по советам опытных наладчиков 20 лет назад. Были использованы материалы исследований, проведенных в прошлые годы в системе Краснодарэнерго (в настоящее время – АО «Кубаньэнерго»). Пришлось провести свои исследования и связаться с изготовителями и разработчиками ШОН, которые согласились с некоторыми нашими сомнениями и предложениями.

В итоге накоплен и частично систематизирован материал, который будет интересен широкому кругу работников энергосистем.

Практические вопросы питания устройств АПВ от схем емкостного отбора рассматриваются после описания видов АПВ и устройств контроля синхронизма. Это необходимо для полного понимания взаимодействия элементов устройств со схемами отбора напряжения.

Замечания, предложения и пожелания просим направлять по адресу: 115201, г. Москва, Каширское ш., д. 22, корп. 3, ЗАО «Издательство НЦ ЭНАС».

Составители

1. ВИДЫ АПВ И УСЛОВИЯ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Устройства АПВ применяются для быстрого восстановления питания потребителей или межсистемных и внутрисистемных связей путем автоматического включения выключателей, отключенных устройствами релейной защиты.

Применение устройств АПВ позволяет быстро ликвидировать перерывы в электроснабжении при КЗ на одиночных питающих линиях, предотвратить серьезные нарушения технологического процесса потребителей, повысить надежность электроснабжения потребителей, подключенных к необслуживаемым подстанциям, ускоряет возвращение электрической системы к нормальной схеме. К линиям могут быть подключены подстанции без выключателей на стороне высшего напряжения. На таких подстанциях применяются короткозамыкатели для создания искусственного КЗ при повреждениях трансформаторов и отделители для отключения подстанции в бестоковую паузу, определяемую временем АПВ. Количество успешных случаев однократного АПВ воздушных линий составляет 65–90 %, а второго цикла при неуспешном первом – дополнительно 10–15 %.

В соответствии с требованиями Правил устройства электроустановок [1] выполняется АПВ:

- воздушных и смешанных кабельно-воздушных линий всех типов напряжением выше 1 кВ;

- шин электростанций и подстанций;

- трансформаторов;

- в некоторых случаях – ответственных электродвигателей.

Существуют некоторые ограничения на действие устройств АПВ. Эти устройства не должны действовать:

- при дистанционном отключении выключателя персоналом или с помощью телеуправления;

- при автоматическом отключении от релейной защиты непосредственно после дистанционного включения персоналом или от телеуправления;

- при отключении выключателей защитой от внутренних повреждений трансформаторов, вращающихся механизмов;

- при отключении устройствами противоаварийной автоматики и в некоторых других случаях.

Автоматическое повторное включение, как и другие средства включения на параллельную работу энергосистем или участков системы, имеющих генерирующие мощности, может сопровождаться толчками уравнивающего тока и взаимным раскачиванием объединяемых элементов, что в наиболее тяжелых случаях может привести к возникновению длительного асинхронного хода или повреждению оборудования. К генерирующим мощностям кроме собственно генераторов можно отнести синхронные компенсаторы и мощные синхронные двигатели. Устройства АПВ не должны включать элементы системы в тех случаях, когда неправильное включение может вызвать тяжелые последствия.

В идеальном случае включение на параллельную работу систем или разделенных частей системы должно выполняться при равенстве частот, отсутствии скольжения и совпадении векторов напряжений. Практически это может быть выполнено с высокой степенью точности только у генераторов, включаемых в сеть. Объединение энергосистем на параллельную работу с соблюдением этих условий трудновыполнимо. Включение выполняется при некотором скольжении, отличном от нуля.

При ручном включении скольжение и совпадение векторов напряжения контролируется по показаниям щитовых приборов (колонка синхронизации). Автоматическое повторное включение линий электропередачи или трансформаторов может быть различных видов в зависимости от методов предотвращения ненормальных режимов в процессе и после АПВ.

Наиболее распространены следующие виды автоматического повторного включения:

- однофазное АПВ (ОАПВ);

- АПВ без контроля синхронизма в условиях, когда несинхронное включение исключено;

- АПВ без проверки синхронизма, когда расчетом подтверждается допустимость несинхронного включения – несинхронное АПВ (НАПВ);

- АПВ без проверки синхронизма при наличии быстродействующих выключателей и быстродействующей релейной защиты – быстродействующие АПВ (БАПВ);

- АПВ с ожиданием синхронизма (АПВ ОС);

- АПВ с улавливанием синхронизма (АПВ УС);

- АПВ в сочетании с самосинхронизацией генераторов (АПВС).

Основное преимущество *однофазного АПВ* – сохранение в цикле АПВ связи между системами, что позволяет включить линию без толчка и нарушения синхронизма. Недостаток его – необходимость

использования выключателей с пофазным приводом и довольно сложных устройств автоматики (панелей АПВ-503, ПДЭ-2004 и т.п.).

Остальные виды АПВ являются трехфазными.

Устройства несинхронного АПВ и АПВ без проверки синхронизма, когда несинхронное включение исключено, – наиболее простые из перечисленных устройств. Несинхронное АПВ применяется в тех случаях, когда включение на несинхронное напряжение не представляет опасности для электрооборудования, а синхронизм в системе восстанавливается достаточно быстро.

Быстродействующее АПВ является частным случаем несинхронного АПВ и применяется в тех случаях, когда оборудование позволяет выполнить включение до появления значительного расхождения векторов напряжений разделившихся частей системы при условии деионизации среды в бестоковую паузу. Для выполнения БАПВ необходимы быстродействующие защиты и выключатели.

Устройство АПВ с улавливанием синхронизма имеет специальные органы, контролирующие угловую скорость относительного вращения векторов разделившихся частей системы и обеспечивающие включение выключателя в заданном диапазоне разности частот с опережением момента совпадения фаз напряжений. Этот вид АПВ обеспечивает возможность включения при значительных скольжениях, включение происходит без значительных толчков и асинхронного тока. Но для его выполнения необходима более сложная аппаратура, чем при других видах трехфазного АПВ. Один из недостатков этого вида АПВ – в некоторых случаях длительное время ожидания благоприятных условий для включения выключателя.

Автоматическое повторение включения с ожиданием синхронизма можно считать разновидностью АПВ УС, так как при небольших скольжениях оно может успеть подать импульс на включение выключателя. Но основное назначение его – ожидание восстановления параллельных связей, после чего можно будет включить линию.

Последние два вида АПВ объединяются общим термином «АПВ с контролем синхронизма» (АПВ КС). К этой же группе в дальнейшем условно будем относить и АПВ с контролем наличия напряжения на одном из объединяемых элементов и отсутствия на другом.

Часто применяются различные комбинации перечисленных видов АПВ.

Рассмотрим пример участка энергосистемы, в состав которого входят две достаточно мощные электростанции *ГРЭС 1* и *ГРЭС 2*, маломощная электростанция *МЭС*, расположенная в районе с большой нагрузкой, и подстанция *ПС 1*, осуществляющая связь с системой по линии сверхвысокого напряжения (рис. 1).

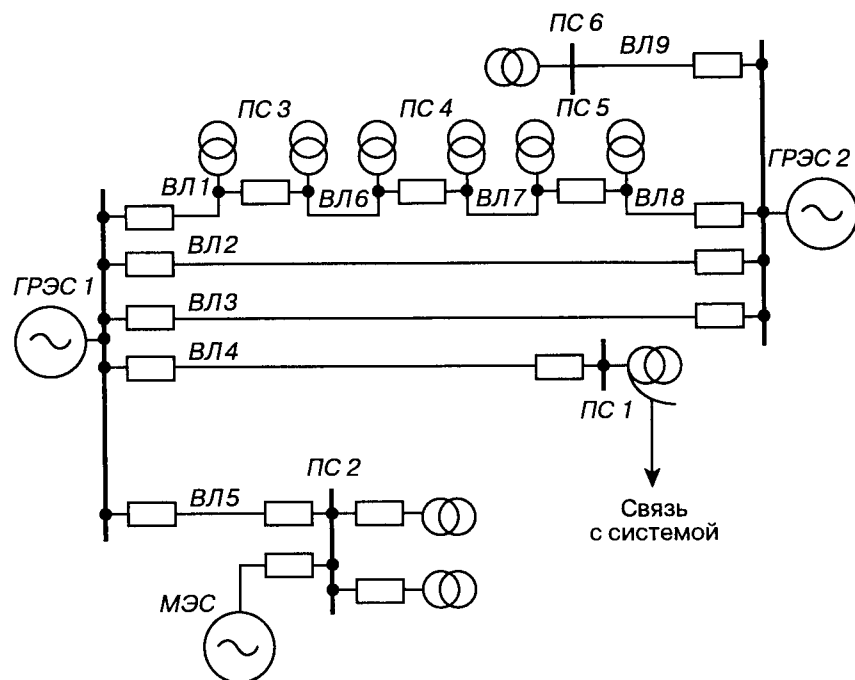


Рис. 1. Пример участка энергосистемы с различными видами АПВ

В соответствии с требованиями [1] в зависимости от конфигурации сети применяются различные виды автоматического повторного включения.

На линиях, отключение которых не приводит к нарушению электрической связи между генерирующими источниками (на параллельных линиях с односторонним питанием), устанавливаются устройства АПВ без проверки синхронизма.

На одиночных линиях с двусторонним питанием (ВЛ 4, ВЛ 5) предусматриваются:

- несинхронное АПВ;
- АПВ с улавливанием синхронизма;
- быстродействующее АПВ и однофазное АПВ – при наличии соответствующих выключателей.

Несинхронное АПВ применяется при выполнении следующих условий:

максимальный электромагнитный момент синхронных генераторов и компенсаторов, возникающий при несинхронном включении, с учетом необходимого запаса меньше электромагнитного момента, возникающего при трехфазном КЗ на выводах машины;

максимальный ток через трансформатор (автотрансформатор) при угле включения 180° меньше тока КЗ на его выводах при питании от шин бесконечной мощности;

после АПВ обеспечивается достаточно быстрая ресинхронизация.

При соблюдении этих условий НАПВ допускается применять в режиме ремонта на параллельных линиях.

Автоматическое повторное включение с улавливанием синхронизма (АПВ УС) на одиночных линиях с двусторонним питанием может применяться для включения линии при значительных скольжениях и допустимом угле между векторами напряжения объединяемых систем или частей системы.

Быстродействующее АПВ (одновременное включение с минимальной выдержкой времени с обоих концов линии) применяется, как правило, при небольшом расхождении угла между векторами ЭДС соседних систем.

На конце линии, включаемом первым, может производиться ускоренное ТАПВ (с фиксацией срабатывания быстродействующей защиты, охватывающей всю линию) без контроля напряжения на линии (АПВ БК) или ТАПВ с контролем отсутствия напряжения на линии (АПВ ОН), а на другом конце – ТАПВ УС.

Устройства АПВ выполняются так, чтобы имела возможность изменять очередность включения выключателей.

На линиях с двусторонним питанием при наличии нескольких обходных связей (ВЛ 1–ВЛ 3, ВЛ 6–ВЛ 8) применяются:

1) при наличии двух связей, а также при наличии трех связей, если возможно длительное отключение двух из них:

несинхронное АПВ при соблюдении условий его применения для одиночных линий с двусторонним питанием;

АПВ с проверкой синхронизма в других случаях;

2) для ответственных линий при наличии двух связей, а также при наличии трех связей, две из которых – двухцепная линия, при невозможности применения НАПВ могут применяться ОАПВ, БАПВ в сочетании с АПВ КС или АПВ УС;

3) при наличии четырех связей и более, а также при наличии трех связей, если в последнем случае одновременное длительное отключение маловероятно, – несинхронное АПВ.

Автоматическое повторное включение линии ВЛ 9 выполняется без контроля синхронизма, так как не объединяет генерирующие мощности, и появление асинхронного режима на ней исключено.

Линия ВЛ 5 находится в особом положении. Если при ее отключении в районе ПС 2 образуется большой дефицит мощности,

а несинхронное АПВ по каким-либо причинам (ограничения приведены выше) выполнить нельзя, существенное расхождение частот может сделать невозможным включение участков системы на параллельную работу. В этом случае возможно совместное использование АПВ линии и устройств синхронизации генераторов (АПВС). На конце линии со стороны *ГРЭС 1* устанавливается устройство АПВ с контролем отсутствия напряжения на линии, линейный выключатель на *ПС 2* не отключается, а генератор *МЭС* либо отключается, либо переводится в асинхронный режим. В этом случае включение линии на *ГРЭС 1* выполняется как для тупиковой линии, а включение генератора *МЭС* — с различными методами синхронизации, используемыми для генераторов.

Устройства АПВ с проверкой синхронизма выполняются на одном конце линии (включаемом первым) с контролем отсутствия напряжения на линии и с контролем синхронизма (ОНЛ + КС), на другом — только с контролем синхронизма. Схемы устройств АПВ с контролем синхронизма или отсутствия напряжения на линии выполняются, как правило, одинаковыми с учетом возможности изменения очередности включения выключателей при АПВ.

Автоматическое повторное включение шин электростанций и подстанций при наличии специальной защиты шин выполняется по одному из двух вариантов:

автоматическим опробованием (постановка шин под напряжение выключателем от устройства АПВ одного из питающих элементов);

автоматической сборкой схемы. При этом первым от устройства АПВ включается один из питающих элементов, а при успешном включении этого элемента производится последующее автоматическое восстановление схемы доаварийного режима путем включения других элементов.

При выполнении АПВ шин должны приниматься меры, исключающие несинхронное включение.

Рекомендуется использовать устройства АПВ КС для проверки синхронизма соединяемых систем при включении линии персоналом.

2. УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ СИНХРОНИЗМА В ОПЕРАТИВНЫХ ЦЕПЯХ АПВ

Пуск трехфазного АПВ выполняется при несоответствии между ранее поданной оперативной командой и отключенным положением выключателя. В некоторых случаях применяется пуск АПВ от защиты.

Основным условием запуска устройства АПВ в первом случае является несоответствие между последней командой включения выключателя и его отключенным положением. Дополнительное условие — синхронное напряжение на шинах подстанции и на линии или отсутствие напряжения на одном из этих элементов и наличие на другом. Работа устройства АПВ должна запрещаться в случае действия ограничений, приведенных в § 1.

На рис. 2 приведена схема АПВ с ожиданием синхронизма линии 110–220 кВ на реле РПВ-58 для одного масляного выключателя *МВ*. Устройства несинхронного АПВ отличаются от приведенной схемы отсутствием цепи контроля синхронизма.

На рис. 3 приведена схема АПВ на реле РПВ-01, обеспечивающая эти же режимы.

Реле *РПО*, *РФ* и *Цепи контроля синхронизма* образуют цепь пуска АПВ. На подстанциях с отделителем и короткозамыкателем (на рис. 1 это могут быть подстанции *ПС 3–ПС 5*) в цепь пуска АПВ в некоторых случаях может быть включен дополнительно контакт реле, контролирующий положение отделителя.

Раньше цепи контроля синхронизма включались в цепь включения выключателя после устройства АПВ. От этого решения отказались, так как при возникновении даже непродолжительных качаний орган контроля синхронизма запрещал включение выключателя. Схемы на рис. 2 и 3 запускают АПВ после прекращения таких качаний. При наличии некоторого скольжения после нескольких неудачных запусков устройство может включить выключатель, если скольжение вернется к допустимому значению.

Цепи запрета АПВ действуют при оперативном отключении, работе устройств резервирования отказа выключателей (УРОВ) и некоторых других видов автоматики.

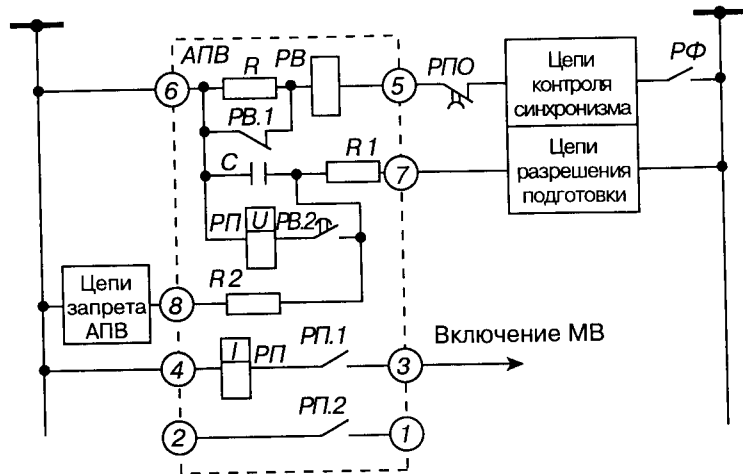


Рис. 2. Схема АРВ с ожиданием синхронизма на реле РРВ-58:
РПО – реле положения «отключено» выключателя, РФ – реле фиксации команды на включение выключателя

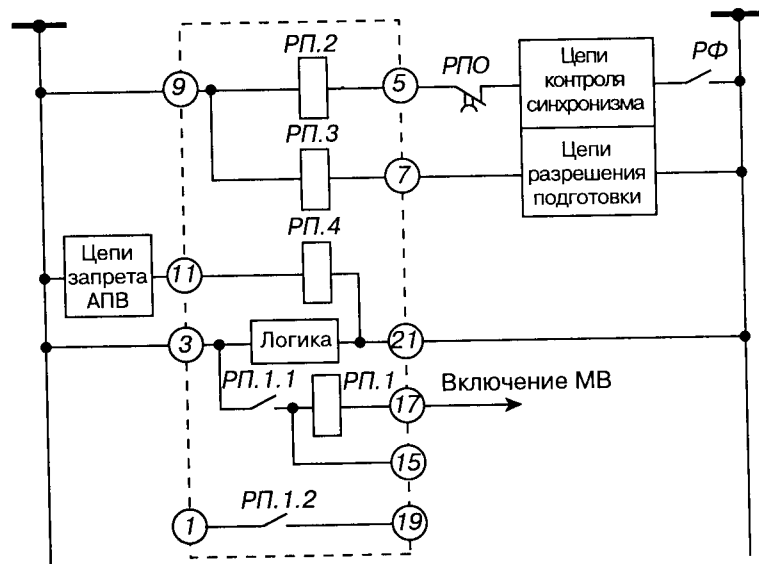


Рис. 3. Схема АРВ с ожиданием синхронизма на реле РРВ-01

Цепи разрешения подготовки включают в себя контакты реле положения «включено» или другие источники информации о положении выключателя.

Приведенные схемы с небольшими изменениями могут применяться для ручного включения линии с контролем синхронизма или напряжения на объединяемых элементах. Пример схемы, обеспечивающей ручное включение с контролем синхронизма, приведен на рис. 4.

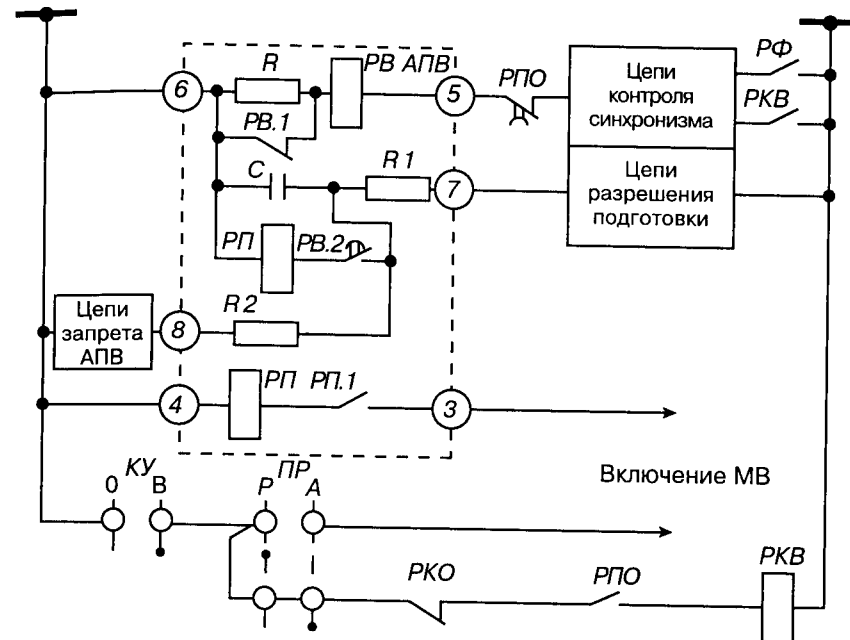


Рис. 4. Схема АРВ, обеспечивающая возможность ручного включения с контролем синхронизма:
РКВ – реле команды «включить»; РКО – контакт реле команды «отключить»; РР – переключатель режима

Если переключатель режима РР установлен в положение Р (ручное включение), включение выключателя идет помимо схемы АРВ и без контроля синхронизма. В положении А (автоматика) прямое воздействие реле РКВ на выключатель прекращается: реле РКВ ставится на самоподхват и удерживается до включения выключателя (контакт РПО) или отмены команды на включение (контакт реле РКО). Своим контактом, подключенным параллельно РФ, реле РКВ готовит цепь пуска АРВ, что при выполнении условий контроля синхронизма обеспечивает включение выключателя. Цепь разрешения подготовки может быть в этом случае замкнута постоянно (запрет АРВ выполняется по фиксации команды «отключить») или через дополнительный контакт переключателя режима.

Цепи контроля синхронизма в общем случае контролируют: наличие синхронных напряжений между объединяемыми частями системы; наличие напряжения в одной части системы и отсутствие напряжения в другой.

Общая схема цепей контроля синхронизма для устройства АРВ, выполняющего одновременно и функции АРВ шин, приведена на рис. 5.

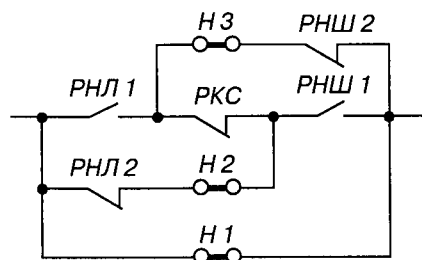


Рис. 5. Схема цепей контроля синхронизма для АПВ: РНЛ – реле контроля напряжения на линии; РНШ – реле контроля напряжения на шинах; РКС – реле контроля синхронизма

Цепь РНЛ 1 (размыкающий контакт) – РНШ 2 (замыкающий контакт) контролирует отсутствие напряжения на линии и наличие напряжения на шинах. Она обеспечивает включение линии под напряжение при наличии напряжения на шинах и его отсутствии на линии. Цепь может быть введена накладкой Н 2 в зависимости от режима системы.

Цепь РНЛ 2 (замыкающий контакт) – РНШ 1 (размыкающий контакт) контролирует наличие напряжения на линии и отсутствие напряжения на шинах. Она обеспечивает опробование шин после действия дифференциальной защиты шин (АПВ шин). Цепь может быть введена накладкой Н 3.

Накладкой Н 1 цепи контроля синхронизма напряжения выводятся полностью и вводится несинхронное АПВ.

В данном случае «напряжение на линии» и «напряжение на шинах» – условные понятия. На подстанциях с упрощенной схемой («мостик», «четыреугольник» и т.п.) это могут быть напряжения соединяемых линий, а при выполнении АПВ трансформаторов – систем шин различных напряжений.

Обмотка РНЛ и одна из обмоток РКС подключаются к трансформатору напряжения (ТН) или другому преобразователю напряжения на линии, РНШ и вторая обмотка РКС – к ТН на шинах.

Реле РКС правильнее называть «реле сдвига фаз», но здесь и в дальнейшем будет употребляться термин «реле контроля синхронизма», как широко распространенный и часто применяемый.

Цепь РНЛ – РКС – РНШ контролирует наличие синхронных напряжений на двух объединяемых участках системы и введена постоянно. Она обеспечивает включение линии под нагрузку после появления на ней напряжения с противоположного конца.

3. УСЛОВИЯ ДОПУСТИМОСТИ АПВ

Временная диаграмма, поясняющая работу схемы контроля синхронизма, приведена на рис. 6. Диаграмма представляет собой зависимость угла между векторами напряжения объединяемых частей системы δ от времени t .

При отключении линии, имеющей шунтирующие связи, векторы напряжения \dot{U}_1 и \dot{U}_2 на ее концах расходятся на угол, обусловленный нагрузкой $\delta_{\text{нагр}}$. Разность векторов напряжений составит некоторую величину $\Delta \dot{U}$.

При равенстве напряжений по концам линии эти величины связаны соотношением

$$\delta_{\text{нагр}} = 2 \arcsin \frac{0,5 \Delta U}{U}. \quad (1)$$

При различных напряжениях

$$\delta_{\text{нагр}} = \arccos \frac{U_{\text{ш}}^2 + U_{\text{л}}^2 - \Delta U_{\text{расч}}}{2 U_{\text{ш}} U_{\text{л}}}, \quad (2)$$

где $U_{\text{ш}}$ – напряжение шин; $U_{\text{л}}$ – напряжения линии.

Угол между векторами напряжения, при котором должно срабатывать реле контроля синхронизма, с некоторым запасом должен быть больше максимального угла нагрузки:

$$\delta_{\text{сп}} = k_{\text{н}} \delta_{\text{нагр max}}, \quad (3)$$

где $k_{\text{н}} = 1,25 \div 1,3$ – коэффициент надежности.

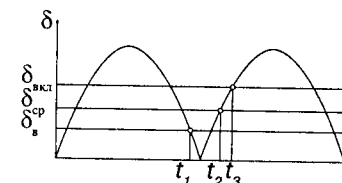


Рис. 6. Диаграмма работы устройства контроля синхронизма: $\delta_{\text{вкл}}$ – угол, при котором допускается АПВ; $\delta_{\text{сп}}$ – угол, при котором происходит срабатывание реле контроля синхронизма (размыкание контакта, разрешающего АПВ); $\delta_{\text{в}}$ – угол возврата реле контроля синхронизма

Время включения выключателя устройством АПВ с контролем синхронизма составляет

$$T_{\text{вкл}} = t_{\text{АПВ2}} + t_{\text{в}}, \quad (4)$$

где $t_{\text{АПВ2}}$ — время действия устройства АПВ с учетом выдержки времени реле контроля синхронизма; $t_{\text{в}}$ — собственное время включения выключателя.

Время t_1 на диаграмме рис. 6 соответствует возврату реле контроля синхронизма и запуску схемы АПВ, t_2 — срабатыванию этого реле. Если $t_2 - t_1 \geq t_{\text{АПВ2}}$, то будет подан импульс на включение выключателя. Время t_3 соответствует завершению цикла включения:

$$t_3 - t_2 = t_{\text{в}}.$$

Из диаграммы на рис. 6

$$\frac{\delta_{\text{ср}} + \delta_{\text{в}}}{t_{\text{АПВ2}}} = \frac{360^\circ}{T_{\text{Б}}}, \quad (5)$$

$$\frac{\delta_{\text{вкл}} - \delta_{\text{ср}}}{t_{\text{в}}} = \frac{360^\circ}{T_{\text{Б}}}, \quad (6)$$

$$\delta_{\text{в}} = \delta_{\text{ср}} k_{\text{в}}, \quad (7)$$

где $T_{\text{Б}}$ — период «биений»; $k_{\text{в}}$ — коэффициент возврата.

Из выражений (5)–(7), приняв $k_{\text{в}} = 0,8$, получаем:

$$t_{\text{АПВ2}} = \frac{1,8 \delta_{\text{ср}} t_{\text{вкл}}}{\delta_{\text{вкл}} - \delta_{\text{ср}}}. \quad (8)$$

Так как

$$\frac{1}{T_{\text{Б}}} = s \frac{f_{\text{ном}}}{100}, \quad (9)$$

то предельное скольжение, при котором может быть обеспечено АПВ

$$s_{\text{пр}} = 100 \frac{\delta_{\text{вкл}} - \delta_{\text{ср}}}{360 t_{\text{вкл}} f_{\text{ном}}}. \quad (10)$$

На конце линии, включаемом первым, выполняется АПВ с контролем отсутствия напряжения на линии. Выдержка времени реле АПВ выбирается из условия

$$t_{\text{АПВ1}} \geq t_{\text{з2max}} - t_{\text{з1min}} + t_{\text{отк2}} - t_{\text{отк1}} - t_{\text{в1}} + t_{\text{д.с}} + t_{\text{зап}}, \quad (11)$$

где $t_{\text{АПВ1}}$ — выдержка времени АПВ; $t_{\text{з2max}}$ — максимальное время срабатывания защиты на противоположном конце линии; $t_{\text{з1min}}$ — минимальное время срабатывания защиты на рассматриваемом конце линии; $t_{\text{отк2}}$ — время отключения выключателя на противоположном конце линии; $t_{\text{отк1}}$ — время отключения выключателя на рассматриваемом конце линии; $t_{\text{в1}}$ — время готовности привода выключателя на рассматриваемом конце линии; $t_{\text{д.с}}$ — время деионизации среды; $t_{\text{зап}}$ — время запаса, или прощ

$$t_{\text{АПВ1}} \geq t_{\text{з2max}} - t_{\text{зап}}. \quad (12)$$

Если выдержки времени по обоим концам линии принять одинаковыми, то

$$\delta_{\text{ср}} = \frac{t_{\text{ср}} \delta_{\text{вкл}}}{1,8 t_{\text{вкл}} + t_{\text{АПВ1}}}. \quad (13)$$

Полученное таким образом $\delta_{\text{ср}}$ должно быть больше полученного из выражения (3). Если это не выполняется, принимаем угол, равный полученному из выражения (3), а время — из выражения (8).

Как было сказано выше, устройства АПВ ОС применяются на линиях с двусторонним питанием, имеющих шунтирующие связи. При некоторых сложных аварийных режимах эти линии могут оказаться в режиме одиночного транзита, при разрыве которого возможно разделение системы на автономные участки. При этом в общем случае действие устройства АПВ ОС не обеспечивает АПВ. Устройство лишь предотвращает несинхронное включение, контролирует возникновение синхронного режима при включении параллельных связей и дает импульс на включение при восстановлении синхронизма между частями системы.

Но и без восстановления шунтирования линии возможно включение линии от устройства АПВ ОС при выполнении условия (10).

4. ПОДКЛЮЧЕНИЕ УСТРОЙСТВ КОНТРОЛЯ СИНХРОНИЗМА К ПЕРВИЧНЫМ ЦЕПЯМ

На многих подстанциях напряжением 110–220 кВ, выполненных по упрощенной схеме на стороне высокого напряжения и оснащенных полноценными защитами линий (дистанционными или высокочастотными), на линиях устанавливаются трансформаторы напряжения. При этом выполнение устройств контроля синхронизма для АПВ или ручной синхронизации не представляет сложности. На рис. 1 такими подстанциями являются ПС 3–ПС 5.

Если ТН установлены на шинах и линии или на двух линиях одного напряжения, обмотки реле сдвига фаз подключаются к одноименным сочетаниям фаз. В этом случае, как правило, используются реле с обмотками номинальным напряжением 100 В.

Если напряжения, к которым подключены ТН, различны, но системы объединены трансформаторами без поворота векторов напряжения (автотрансформатором или трансформатором с соединением «звезда-звезда»), реле подключается также на одноименные фазы, но при наладке нужно учитывать погрешность, возникающую при работе устройства регулирования под нагрузкой (РПН).

При соединении обмоток трансформатора звезда–треугольник включение обмоток реле должно компенсировать образующийся в таком случае сдвиг фаз между одноименными векторами напряжения. Так, например, при соединении трансформатора звезда–треугольник-11 напряжению U_{A0} стороны трансформатора, соединенной в звезду, соответствует напряжение U_{AC} стороны трансформатора, соединенной в треугольник. Обмотка реле с номинальным напряжением 60 В подключается в этом случае к ТН стороны, соединенной в звезду, а с номинальным напряжением 100 В – к ТН стороны, соединенной в треугольник.

В других случаях трансформаторы напряжения на линиях не устанавливаются. Распределительные устройства с большим количеством отходящих линий оснащаются, как правило, трансформаторами напряжения на системах шин (см. рис. 1 – это ГРЭС 1, ГРЭС 2). Напряжения к защитам, цепям измерения, фиксирующим приборам и другим устройствам линии подаются через реле – повторители положения разъединителей от трансформаторов напряжения системы шин, за которой зафиксирована линия. Для защиты это не имеет

принципиального значения, так как напряжения на шинах и на линии при включенном выключателе достаточно близки. После отключения линии для контроля синхронизма АПВ и в некоторых других случаях необходимо иметь информацию о действительном напряжении на линии, которое не совпадает с напряжением на шинах. В этом случае нужно применять альтернативные источники информации.

Для этих целей использовались различные средства. Ранее достаточно распространены были отборы напряжения с помощью конденсаторных вводов масляных выключателей и трансформаторов. Отбор напряжения выполнялся с помощью устройств ПИН (приспособление для отбора напряжения) или обычных трансформаторов напряжения НОМ-6. Возможен отбор от обычных вводов масляных выключателей, различных типов изоляторов или антенный отбор напряжения. Некоторые схемы, исполняемые в условиях энергосистемы без использования промышленных устройств отбора, приведены в [13]. Так, например, от испытательного вывода маслonaполненного ввода БМВ, установленного на выключателе У-220, может питаться схема, включающая в себя реле контроля синхронизма РН-55/200, реле контроля напряжения на линии РН-54/160 и вольтметр *ДВ*, контролирующий разность векторов напряжений на объединяемых элементах. Дополнительно схема включает в себя согласующий трансформатор *Т* (рис. 7).

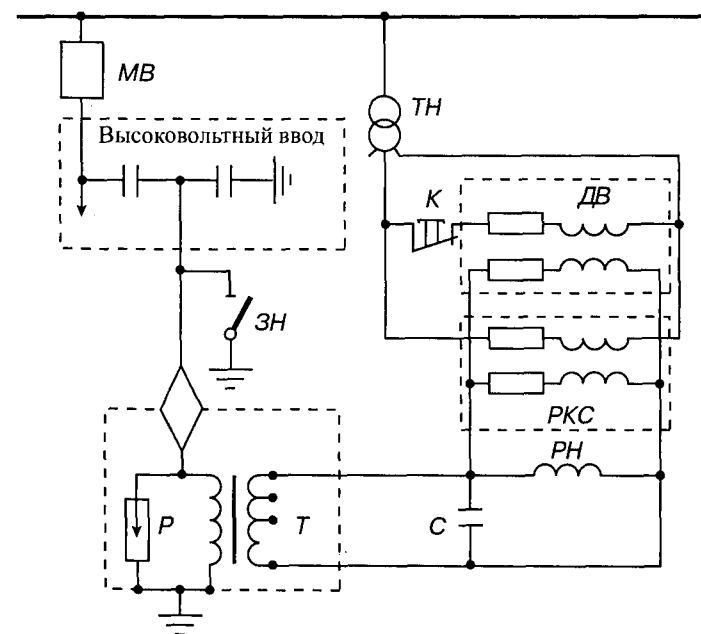


Рис. 7. Схема отбора напряжения при помощи маслonaполненного ввода

Шкаф отбора напряжения включает в себя следующие элементы:

ПИ – проходные изоляторы;

КР – конденсатор разделительный. Обеспечивает беспрепятственное прохождение сигнала высокой частоты к ВЧ аппаратуре и исключает шунтирование трансформаторов отбора напряжения (ТОН) фильтром присоединения по току промышленной частоты;

Др – дроссель. Исключает шунтирование фильтра присоединения трансформаторами отбора по сигналу высокой частоты и не препятствует прохождению сигнала промышленной частоты;

Р – разрядник. Служит для защиты цепей отбора напряжения от перенапряжений;

ЗР – заземляющий рубильник. Используется как защитное средство при выполнении работ в цепях отбора напряжения и позволяет производить регулирование во вторичных цепях *ШОН* без включения *ЗН* и вывода ВЧ каналов;

ТОН 1, ТОН 2 – трансформаторы отбора напряжения. Являются основным элементом шкафа отбора. Служат для отбора напряжения с линии. Работают в режиме, близком к трансформатору тока, но допускают значительно большее сопротивление нагрузки.

Схема соединения ТОН выбирается в зависимости от типа конденсатора связи, его емкости и вторичной нагрузки. Сопротивление ТОН с подключенной нагрузкой значительно меньше емкостного сопротивления конденсатора *КС* и не влияет на значение и фазу тока отбора. Первичный ток ТОН равен току, протекающему через конденсатор связи, и определяется напряжением линии, числом и емкостью элементов, из которых собираются конденсаторы связи. Ток рассчитывается по формуле

$$i_1 = I_{KC} = \frac{U_{\text{л}} \omega C_{KC}}{\sqrt{3}}, \quad (14)$$

где $U_{\text{л}}$ – междуфазное (линейное) напряжение линии; $\omega = 2\pi f$ – угловая частота, для промышленной частоты ($f = 50$ Гц) $\omega = 314$; C_{KC} – емкость *КС*.

Если конденсатор связи набран из нескольких последовательно соединенных элементов, полная емкость определяется как

$$C_{KC} = \frac{C_3}{n}, \quad (15)$$

где C_3 – емкость одного элемента; n – число элементов.

Ко вторичной обмотке второго трансформатора отбора может быть подключена колонка синхронизации для выполнения ручного

включения с контролем синхронизма. В этом случае применяются, как правило, приборы, рассчитанные на напряжение 100 В (вольтметр, частотомер, синхроскоп с добавочным сопротивлением). Схема подключения колонки синхронизации к шкафу отбора напряжения приведена на рис. 9.

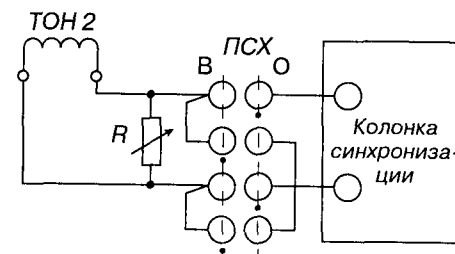


Рис. 9. Схема подключения колонки синхронизации к трансформатору отбора напряжения

Измерительные приборы шунтируются регулируемым резистором *R* (ПЭВР-100, 1 кОм). Напряжение при токе 0,15 А при этом может быть отрегулировано до значения 100 В. Напряжение от трансформатора отбора подается на колонку синхронизации через переключатель *РСХ*. Если линия отключается от колонки синхронизации, выход шкафа отбора напряжения должен быть закорочен.

5. ОСНОВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЕМКОСТНЫХ ОТБОРОВ

Конденсатор связи – один из основных элементов высокочастотного канала. Кроме работы в системе высокочастотной обработки, высоковольтные конденсаторы могут применяться для отбора мощности и измерения напряжения.

Технические данные конденсаторов связи:
номинальное напряжение;
емкость элемента на промышленной частоте;
тангенс угла диэлектрических потерь;
собственная резонансная частота.

Первые два параметра являются определяющими при выборе конденсатора связи и необходимы при расчетах отборов напряжения.

Основные технические данные некоторых конденсаторов, применяемых для высокочастотных каналов связи и для других целей, приведены в табл. 1.

Таблица 1

| Тип конденсатора | Допустимое отклонение емкости, % |
|---------------------------|----------------------------------|
| СМ-166/ $\sqrt{3}$ -14 | ± 5 |
| СМВ-166/ $\sqrt{3}$ -14 | ± 5 |
| СМЗ-166/ $\sqrt{3}$ -14 | ± 3 |
| СМИЗВ-166/ $\sqrt{3}$ -14 | ± 3 |
| СМБ-166/ $\sqrt{3}$ -14 | ± 5 |
| СМБВ-166/ $\sqrt{3}$ -14 | ± 5 |
| СМП-166/ $\sqrt{3}$ -14 | ± 5 |
| СМИ-166/ $\sqrt{3}$ -14 | -5, +10 |
| СМ-133/ $\sqrt{3}$ -18,6 | ± 5 |

| Тип конденсатора | Допустимое отклонение емкости, % |
|-----------------------------|----------------------------------|
| СМВ-133/ $\sqrt{3}$ -18,6 | ± 5 |
| СМ-110/ $\sqrt{3}$ -6,4 | +10, -5 |
| СМВ-110/ $\sqrt{3}$ -6,4 | +10, -5 |
| СМБВ-110/ $\sqrt{3}$ -6,4 | +10, -5 |
| СМП-110/ $\sqrt{3}$ -6,4 | +10, -5 |
| СМПВ-110/ $\sqrt{3}$ -6,4 | +10, -5 |
| СМПБ-110/ $\sqrt{3}$ -6,4 | +10, -5 |
| СМПБВ-110/ $\sqrt{3}$ -6,4 | +10, -5 |
| СМ-66/ $\sqrt{3}$ -4,4 | +10, -5 |
| СМР-166/ $\sqrt{3}$ -0,014 | ± 5 |
| СМР-133/ $\sqrt{3}$ -0,0186 | ± 5 |
| СМР-110/ $\sqrt{3}$ -0,0064 | +10, -5 |
| СМК-110/ $\sqrt{3}$ -0,0064 | ± 5 |
| СМР-66/ $\sqrt{3}$ -0,0044 | +10, -5 |
| СМР-55/ $\sqrt{3}$ -0,0044 | +10, -5 |

Примечание. Буквы в типе конденсатора обозначают: С – предназначен для целей связи; М – пропитка минеральным маслом; последние буквы в буквенной части обозначают конструктивное исполнение (Р – с расширителем, К – с компенсатором, В – с выводом для подключения аппаратного зажима ошиновки, П – совмещенный с изолирующей подставкой, Б – категория исполнения по длине пути утечки).

Цифровая часть: 1-я (дробная) – номинальное напряжение, кВ, 2-я (после дефиса) – номинальная емкость, мкФ или нФ. Значению емкости 0,0064 мкФ соответствует 6,4 нФ.

Если напряжение линии превышает номинальное напряжение элемента конденсатора связи, последний комплектуется из нескольких элементов, соединенных последовательно. Для этого конденсаторы устанавливаются один на другой. Комплект конденсаторов связи (колонка) или один элемент устанавливаются на изолирующей подставке. Число элементов для разных напряжений линии приведено в табл. 2.

Таблица 2

| Номинальное напряжение линии, кВ | Номинальное напряжение конденсатора, кВ | Число элементов |
|----------------------------------|---|-----------------|
| 500 | $166/\sqrt{3}$ | 3 |
| | $133/\sqrt{3}$ | 4 |
| 330 | $166/\sqrt{3}$ | 2 |
| | $133/\sqrt{3}$, $110/\sqrt{3}$ | 3 |
| 220 | $110/\sqrt{3}$ | 2 |
| | $66/\sqrt{3}$ | 4 |
| 150 | $55/\sqrt{3}$, $66/\sqrt{3}$ | 3 |
| 110 | $55/\sqrt{3}$, $66/\sqrt{3}$ | 2 |
| | $110/\sqrt{3}$ | 1 |

В табл. 3 приведены емкостные сопротивления и токи конденсаторов связи для различных типов КС, подключенных к линиям разных напряжений.

Таблица 3

| Напряжение линии, кВ | Тип конденсатора связи или группы конденсаторов | Сопротивление конденсатора, кОм | Ток через конденсатор при номинальном напряжении, мА |
|----------------------|---|---------------------------------|--|
| 330 | $2 \times \text{СМР-166}/\sqrt{3} - 0,014$ | 455 | 420 |
| | $3 \times \text{СМР-133}/\sqrt{3} - 0,0186$ | 513,7 | 371 |
| | $3 \times \text{СМК-110}/\sqrt{3} - 0,0064$ | 1492 | 128 |
| 220 | $2 \times \text{СМК-110}/\sqrt{3} - 0,0064$ | 995,2 | 128 |
| | $4 \times \text{СМР-66}/\sqrt{3} - 0,0044$ | 2895 | 44 |
| 150 | $\text{СМР-166}/\sqrt{3} - 0,014$ | 2171 | 40 |
| 110 | $\text{СМК-110}/\sqrt{3} - 0,0064$ | 497,6 | 128 |
| | $2 \times \text{СМР-66}/\sqrt{3} - 0,0044$ | 1447 | 44 |

Испытания конденсаторов связи как элементов основного оборудования распреедустройства не входят в компетенцию служб РЗА и далее рассматриваться не будут, но в некоторых случаях данные испытаний могут потребоваться для анализа работы отбора напряжения в комплексе.

Шкафы отбора напряжения предназначены для получения вторичных токов, пропорциональных первичным токам, а в комплекте с конденсатором связи – первичным напряжениям. Они используются в схемах контроля напряжения на линиях, не оснащенных трансформаторами напряжения.

В состав шкафа входят один или два трансформатора отбора. Первый трансформатор используется для целей АПВ, второй может применяться для ручной синхронизации с применением колонки синхронизации. Если ручная синхронизация не используется, вторичная обмотка второго трансформатора закорачивается на ближайшей сборке зажимов или на клеммнике ШОН. Трансформаторы отбора напряжения, входящие в состав шкафов отбора напряжения, как правило, выдают вторичный ток 150 или 75 мА, что позволяет применять в качестве их нагрузки реле типа РН-55 или РСНФ-12 с номинальным напряжением 30 В или шкафы защиты и автоматики управления выключателями типа ШЭ 2607 (на рис. 8 этим устройствам соответствует РКС). С некоторыми дополнительными условиями допускается применение реле РСФ-11 с номинальным напряжением 30–60 В и измерительных приборов, используемых в схемах ручного синхронизма. Последовательно с реле контроля синхронизма могут быть включены другие элементы с небольшим сопротивлением (например РНЛ на рис. 8 или цепи контроля напряжения на линии для осциллографа). Номинальный первичный ток выбирается в соответствии с применяемым типом конденсатора связи.

Наиболее распространены в настоящее время шкафы отбора напряжения типов ШОН-301с и ШОН-302с:

ШОН-301с предназначен для работы с конденсаторами СМР-110/ $\sqrt{3}$ -0,0064 и СМР-166/ $\sqrt{3}$ -0,014 на линиях электропередачи на 220, 330 и 500 кВ;

ШОН-302с предназначен для работы с конденсаторами СМР-66/ $\sqrt{3}$ -0,0044 на линиях электропередачи 150 кВ.

В эксплуатации находятся шкафы отбора ШОН-1, ШОН-2, ШОН-3, ШОН-4 более ранних выпусков.

Последняя разработка – универсальные шкафы с трансформаторами ТОН-201. В дальнейшем этот шкаф будем называть ШОН-201, так как официальное наименование шкафа пока авторам неизвестно.

Шкафы ШОН-301с, ШОН-302с. Трансформаторы отбора напряжения, входящие в состав шкафов ШОН-301, состоят из одной секции первичной обмотки с промежуточной отпайкой (ТОН-301с) или не содержат ее (ТОН-302с) и вторичной обмотки с несколькими отпайками. На рис. 10 приведена схема соединения первичных обмоток трансформаторов ТОН-301с для ВЛ 110, 220, 330 кВ с конденсаторами связи СМР-110/ $\sqrt{3}$ -0,0064 (ток через конденсатор связи при номинальном напряжении равен 0,128 А).

Для ВЛ 330 и 500 кВ с конденсаторами СМР-166/ $\sqrt{3}$ -0,014 (ток 0,42 А) включается часть витков. Конец от дросселя подключается к выводу 3 ТОН 1, перемычка от вывода 4 – к выводу 6 ТОН 2.

На рис. 11 приведена схема соединения первичных обмоток трансформаторов ТОН-302с для ВЛ 150 кВ с конденсаторами связи СМР-66/ $\sqrt{3}$ -0,0044.

Схема соединения вторичных обмоток трансформаторов ТОН-301с и ТОН-302с приведены на рис. 12. На рисунке указано число витков элементов обмотки. Выводы 1–6 позволяют подключить нагрузку с номинальным током 0,075 А, 7–12 – 0,15 А. Промежуточные выводы предназначены для регулирования вторичного тока ступенями $\pm 5 \pm 10\%$. Это позволяет устранить погрешность, вызванную различиями в емкости конденсаторов связи и другими факторами.

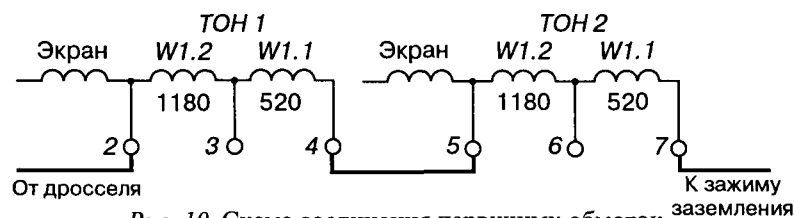


Рис. 10. Схема соединения первичных обмоток трансформаторов ТОН-301с

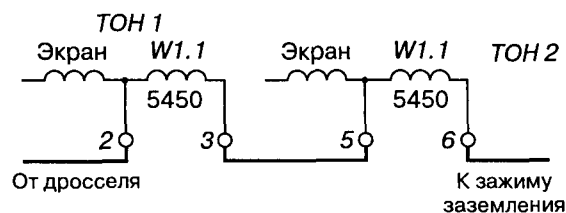


Рис. 11. Схема соединения первичных обмоток трансформаторов ТОН-302с для ВЛ 150 кВ

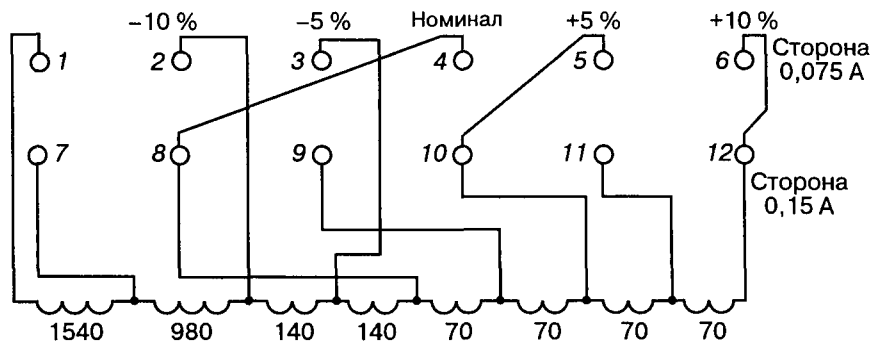


Рис. 12. Схема соединения вторичной обмотки ТОН-301с, ТОН-302с

Номера выводов обмоток в шкафах разных изготовителей могут различаться.

Технические данные трансформаторов отбора приведены в табл. 4.

Таблица 4

| Параметр | Первичная обмотка | | | Вторичная обмотка | |
|---------------------------------------|---|---|---|-------------------|------------------|
| | ШОН-301с | | ШОН-302с | 0,15 А | 0,075 А |
| Номинальный ток, А | 0,42 | 0,128 | 0,04 | 0,15 | 0,075 |
| Номинальный коэффициент трансформации | $K_r = \frac{0,42}{0,15} = 2,8$ $K_r = \frac{0,42}{0,075} = 5,6$ | $K_r = \frac{0,128}{0,15} = 0,853$ $K_r = \frac{0,128}{0,075} = 1,707$ | $K_r = \frac{0,04}{0,15} = 0,267$ $K_r = \frac{0,04}{0,075} = 0,533$ | – | – |
| Число витков | 520 | 520+1180=1700 | 5450 | 1400 ± 2 × 5 % | 2800 ± 2 × 5 % |
| Диаметр провода ПЭТВ-2, мм | 0,356 | 0,2 | 0,112 | 0,355 | 0,25 (1540 вит.) |
| Сопротивление при 20 °С, Ом | 16,4 ± 2 | 144 ± 14 | 1890 ± 19 | 42 ± 4 | 125 ± 12 |

Экран выполнен проводом ПЭТВ-2 диаметром 0,2 мм с числом витков 200.

Расположение обмоток относительно стержня: вторичная – первичная.

Технические данные остальных элементов (см. рис. 8):

Др – дроссель типа ДР-201. Индуктивность $L = 100$ мГн, число витков $w = 1410$;

КР – группа параллельно соединенных конденсаторов суммарной емкостью 30 000 пкФ (3×К-15У-1, 10 000 пкФ, 4кВ, 90 квар);

Р – разрядник типа РВН-0,5 (напряжение пробоя 2,5–3 кВ). В некоторых случаях устанавливаются два последовательно соеди-

ненных разрядника. Необходимость их совместного включения и варианты места установки рассмотрены далее.

Шкаф ШОН-201. Первичная обмотка трансформатора ТОН-201 состоит из трех секций, которые могут быть соединены в различных сочетаниях. Это позволяет использовать трансформаторы при разных первичных токах. Примеры схем соединений первичных обмоток трансформатора ТОН-201 приведены на рис. 13 а, б.

Вторичная обмотка состоит из двух секций с отпайками, которые также могут быть соединены последовательно или параллельно. Это позволяет получить вторичный ток 0,15 или 0,075 А (рис. 14 а, б).

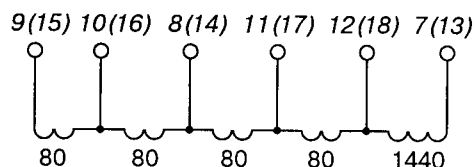
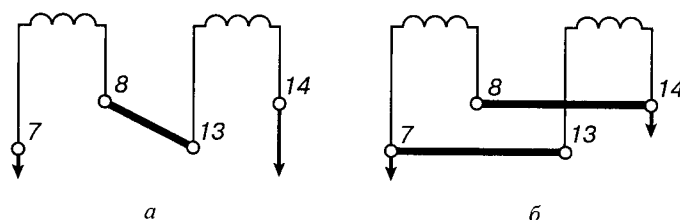
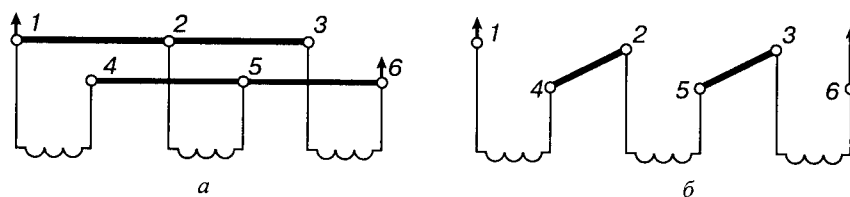


Рис. 15. Схема вторичной обмотки ТОН-201

На рис. 15 приведена схема одной секции вторичной обмотки с указанием числа витков ее элементов. В скобках приведены номера выводов второй секции.

Технические данные трансформаторов приведены в табл. 5.

Таблица 5

| Параметр | Первичная обмотка | | Вторичная обмотка | |
|---------------------------------------|--|---|--------------------------|-----------------------------|
| | Параллельное соединение | Последовательное соединение | Параллельное соединение | Последовательное соединение |
| Номинальный ток, А | 0,13 | 0,043 | 0,15 | 0,075 |
| Номинальный коэффициент трансформации | $K_T = \frac{0,13}{0,15} = 0,866$ $K_T = \frac{0,13}{0,075} = 1,73$ | $K_T = \frac{0,043}{0,15} = 0,287$ $K_T = \frac{0,043}{0,075} = 0,573$ | — | — |
| Число витков одной секции | 1850 | | $1600 \pm 2 \times 5 \%$ | |
| Провод | ПЭЛШО-0,25 | | ПЭЛШО-0,25 | |
| Сопротивление при 20 °С, Ом | 48,5 | 437 | 88,7 | 355 |

Технические данные остальных элементов те же, что и в комплекте шкафа ШОН-301с (ШОН-302с).

Шкафы ШОН-1 и ШОН-2 предназначены для питания цепей контроля синхронизма и подключения к конденсаторам связи в однофазном исполнении. Они различаются номинальным первичным током и количеством трансформаторов отбора. Принципиальная схема включения ШОН-1 и ШОН-2 не отличается от приведенной на рис. 5. Дополнительно в цепь заземления первичной обмотки ТОН включены два резистора.

Резисторы в шкафах ШОН-1, ШОН-2 первоначально устанавливались для подавления явлений резонанса напряжений. В связи с недостаточной эффективностью и низкой надежностью в последующих модификациях шкафов отбора резисторы не предусматриваются.

Шкафы ШОН-3 подключаются к измерительным обкладкам трансформаторов тока ТКФН и маслонаполненных вводов 330–500 кВ. В состав шкафа входят три трансформатора отбора, подключаемые к трем фазам (применяются для целей АПВ) и один дополнительный (для ручного включения с контролем синхронизма).

Шкафы ШОН-4 подключаются к испытательным выводам маслонаполненных вводов 110–220 кВ. В составе шкафа – два трансформатора отбора, подключаемые к двум фазам.

В состав шкафов ШОН-3, ШОН-4, в отличие от других типов, не входят дроссели и разделительные конденсаторы, так как они не подключаются совместно с аппаратурой ВЧ связи.

Первичная обмотка ТОН состоит из четырех одинаковых секций. Соединением обмоток можно собрать схему для различных первичных токов.

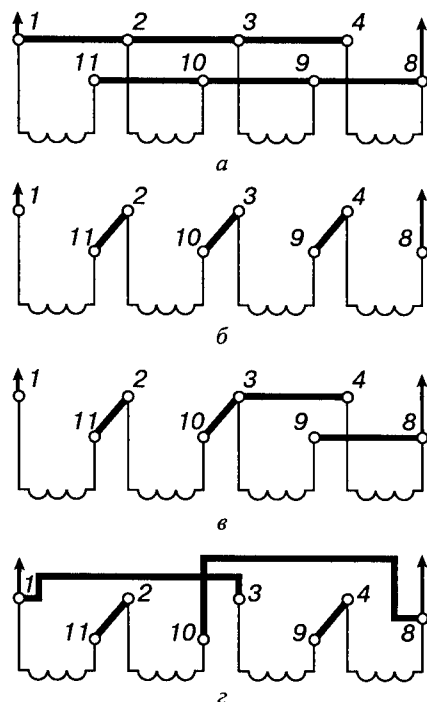


Рис. 16. Схемы соединений первичных обмоток ТОН-101 для различных первичных токов:

$a - I_{\text{перв}} = 0,13 \text{ А}$; $б - I_{\text{перв}} = 0,033 \text{ А}$;
 $в - I_{\text{перв}} = 0,043 \text{ А}$; $г - I_{\text{перв}} = 0,065 \text{ А}$

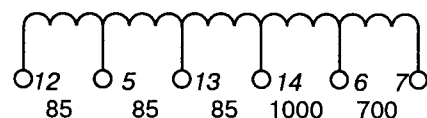


Рис. 17. Схема вторичной обмотки ТОН-101

На рис. 16 *а–г* приведены варианты схем соединения первичных обмоток ТОН-101, устанавливаемых в шкафах ШОН-1.

На рис. 17 приведена схема вторичной обмотки с указанием числа витков.

Схемы соединений на рис. 16 *а, в* применяются для подключения к конденсаторам связи (токи приведены в табл. 3).

Первичный ток трансформаторов ТОН-102, применяемых в шкафах ШОН-2, при параллельном соединении секций равен 0,42 А, вторичный ток такой же, что и у трансформаторов ТОН-101.

Первичный ток трансформаторов ТОН-103, применяемых в шкафах ШОН-3, ШОН-4, при параллельном соединении секций равен 0,24 А и может быть уменьшен в 2, 3, 4 раза, как и в трансформаторах ТОН-101. Вторичный ток ТОН-103 – 0,0365 А.

Технические данные остальных элементов схемы:

Др – дроссель типа Д-101, индуктивность $L = 100 \text{ мГн}$. Дроссель одной из модификаций состоит из девяти секций с общим числом витков 3 500, другой – из шести секций с числом витков 3 000. В обоих случаях обмотка выполнена проводом ПЭЛ диаметром 0,44 мм;

КР – комплект конденсаторов $10 \times \text{КСО-13}$, 3 000 пкФ, рабочее напряжение 3 000 В, суммарная емкость 30 000 мкФ;

R – резисторы типа ПЭВ-25 (2 шт. по 2 000 Ом) соединяются последовательно при питании устройства отбора от конденсатора связи типа СМР-55/ $\sqrt{3}$ -0,0044 или СМР-110/ $\sqrt{3}$ -0,0022 или параллельно при питании от конденсатора связи типа СМР-110/ $\sqrt{3}$ -0,0064 или СМР-166/ $\sqrt{3}$ -0,014;

P – разрядник. В старых выпусках шкафов отбора устанавливались разрядники с пробивным напряжением 1,7 кВ. В соответствии с рекомендациями циркуляра ЭЦ № Э-2/74 от 07.02.74, для устранения шунтирующего влияния на работу высокочастотного канала при пробое разрядника эти разрядники были заменены вилитовыми с напряжением пробоя 2,5–3 кВ.

Технические данные трансформаторов отбора напряжения приведены в табл. 6.

Таблица 6

| Параметр | ШОН-1, ШОН-1А | | ШОН-2 |
|------------------------------------|--|---|---|
| | с конденсатором СМР-110/ $\sqrt{3}$ -0,0064 | с конденсатором СМР-55/ $\sqrt{3}$ -0,0044 | с конденсатором СМР-166/ $\sqrt{3}$ -0,014 |
| Тип трансформатора | ТОН-101 | ТОН-101 | ТОН-102 |
| Схемы соединения первичных обмоток | Рис. 16 <i>а</i> | Рис. 16 <i>в</i> | Рис. 16 <i>а</i> |
| Номинальный первичный ток, А | 0,13 | 0,043 | 0,42 |
| Номинальный вторичный ток, А | 0,24 (зажимы 5–6) или 0,14 (зажимы 5–7) | | |
| Коэффициент трансформации | $K_r = \frac{0,13}{0,24} \left(\frac{0,13}{0,14} \right) = 0,53 (0,93)$ | $K_r = \frac{0,043}{0,24} \left(\frac{0,043}{0,14} \right) = 0,178 (0,31)$ | $K_r = \frac{0,42}{0,24} \left(\frac{0,42}{0,14} \right) = 1,75 (3,0)$ |
| Первичная обмотка: | | | |
| обмоточные данные | 4 × 1850 вит., ПЭЛШО-0,15 | 4 × 1850 вит., ПЭЛШО-0,15 | – |
| сопротивление, Ом | 110 | 1100 | – |

| Параметр | ШОН-1, ШОН-1А | | ШОН-2 |
|--|---|---|---|
| | с конденсатором СМР-110/ $\sqrt{3}$ -0,0064 | с конденсатором СМР-55/ $\sqrt{3}$ -0,0044 | с конденсатором СМР-166/ $\sqrt{3}$ -0,014 |
| Вторичная обмотка: обмоточные данные сопротивление, Ом | 1170^{+85}_{-170} вит. или 1700^{+85}_{-170} вит. ПЭЛШО-0,35 33 (57) | | |

Различие между шкафами ШОН-1 и ШОН-1А состоит в том, что в шкафу ШОН-1 установлены два трансформатора ТОН-101 для питания цепей АПВ и синхронизации, а в шкафу ШОН-1А – один трансформатор.

6. РЕЛЕЙНАЯ АППАРАТУРА УСТРОЙСТВ КОНТРОЛЯ СИНХРОНИЗМА

Реле контроля синхронизма, или реле сдвига фаз, предназначено для применения в схемах автоматического повторного включения линий электропередачи с двусторонним питанием и в других случаях для предотвращения включения на параллельную работу двух электрических систем или частей системы с генерирующими источниками при недопустимом расхождении угла между векторами напряжений. Реле контролирует наличие напряжения и угол сдвига фаз в вышеуказанных схемах. Каждая из обмоток подключается к одному из синхронизируемых напряжений. При расхождении векторов синхронизируемых напряжений или уменьшении одного из них реле срабатывает, и якорь реле подтягивается.

Реле РН-55 – электромагнитное реле, которое реагирует на геометрическую разность магнитных потоков, создаваемых двумя независимыми обмотками, или на разность векторов напряжений, подведенных к обмоткам, при условии приведения их к одному номинальному напряжению. При номинальных напряжениях, подводимых к каждой из обмоток, с достаточной точностью можно считать, что реле реагирует на значение угла между этими напряжениями и является реле сдвига фаз.

Влияние напряжений, подведенных к обмоткам, на угол срабатывания реле приведено ниже. В комплекте с реле времени АПВ его можно считать реле контроля синхронизма. Оно выполнено на базе реле РТ-40. Имеет несколько модификаций, различающихся номинальными напряжениями обмоток. Технические данные реле приведены в табл. 7.

Таблица 7

| Реле | Номинальное напряжение обмотки, В | |
|-----------|-----------------------------------|-----------------------|
| | Выводы 2–4 (от шин) | Выводы 6–8 (от линии) |
| РН-55/90 | 60 | 30 |
| РН-55/120 | 60 | 60 |
| РН-55/130 | 100 | 30 |
| РН-55/160 | 100 | 60 |
| РН-55/200 | 100 | 100 |

Пределы изменения уставок по углу сдвига фаз между векторами напряжений – от 20 до 40° при номинальном напряжении.

Потребление цепи каждой обмоткой реле при номинальном напряжении и угле сдвига фаз векторов напряжений, равно нулю, составляет не более 6,5 В·А.

Коэффициент возврата по углу при номинальном напряжении – не менее 0,8.

Время срабатывания реле при угле фаз, равном 1,5-кратному значению уставки, равно не более 0,15 с.

Схема внутренних соединений реле РН-55 приведена на рис. 18. Обмоточные данные реле и сопротивления добавочных резисторов приведены в табл. 8.

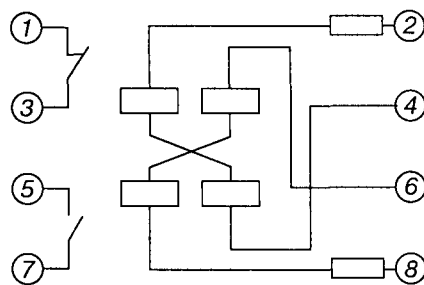


Рис. 18. Схема внутренних соединений реле РН-55

вывод 5, а выводу 8 – вывод 12. Это же нужно учитывать и при рассмотрении схем других электромагнитных реле тока или напряжения.

Каждая из катушек реле имеет по две изолированные полуобмотки с одинаковым суммарным сечением меди проводов.

Внутренняя полуобмотка одной из катушек соединяется с внешней полуобмоткой другой катушки. Такое соединение и подбор сопротивлений позволяют полностью скомпенсировать магнитные потоки от напряжений, поданных с соблюдением полярности. При этом получаются практически одинаковые параметры обмоток. Коэффициент связи между обмотками близок к единице.

Каждая обмотка подключается к одному из синхронизируемых напряжений через добавочный резистор. Значение сопротивлений, число витков обмоток и полярность их включений выбираются таким образом, чтобы при подаче на обе обмотки совпадающих по фазе номинальных напряжений магнитные потоки, создаваемые токами обмоток, взаимно уничтожались и электромагнитный момент на подвижной системе реле отсутствовал.

Реле имеет восемь выводов и четыре свободных места под выводы (колки). В различных источниках приведена различная нумерация выводов реле. На рис. 18 приведена нумерация, соответствующая 8 выводам. В некоторых материалах свободные места под выводы учитываются как колки. В этом случае нумерация указывается со смещением на 4, т. е. выводу 1 соответствует

Для выполнения этого условия одноименные фазы напряжения должны быть поданы на выводы 2 и 8 реле. Однополярными выводами реле являются выводы 2 и 6.

Таблица 8

| Тип реле | Число витков полуобмоток | Диаметр провода марки ПЭВ-2 по меди, мм | Добавочное сопротивление в цепи обмоток, подключаемых к зажимам реле, Ом | |
|-----------|--------------------------|---|--|-----|
| | | | 2-4 | 6-8 |
| РН-55/90 | Внутр. 1350 | 0,2 | 620 | 150 |
| | Внешн. 660 | 0,27 | | |
| | Внутр. 660 | 0,27 | | |
| | Внешн. 1350 | 0,2 | | |
| РН-55/130 | Внутр. 2500 | 0,14 | 1600 | 150 |
| | Внешн. 660 | 0,27 | | |
| | Внутр. 660 | 0,27 | | |
| | Внешн. 2500 | 0,14 | | |

Обмотки напряжением 100 и 60 В предназначены для подключения ко вторичным цепям трансформаторов напряжения, а напряжением 30 В – к устройствам отбора напряжения. Напряжение 30 В на них появляется при протекании тока 0,15 А, что соответствует вторичному току типовых трансформаторов отбора. Нагрузкой ШОН может быть либо реле РН-55/130, либо реле РН-55/90.

Векторная диаграмма реле с одинаковыми обмотками приведена на рис. 19.

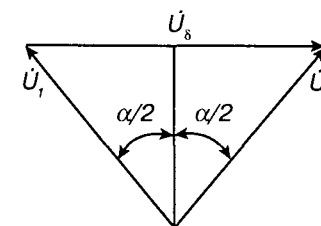
Здесь и в дальнейшем угол α соответствует углу δ между векторами напряжений системы, о которых говорилось в § 1.

Суммарная магнитодвижущая сила (МДС) обмоток равна

$$F = |w_1 \dot{I}_1 + w_2 \dot{I}_2|, \quad (16)$$

где F – МДС; w_1 – число витков первой обмотки; \dot{I}_1 – ток в первой обмотке; w_2 – число витков второй обмотки; \dot{I}_2 – ток во второй обмотке.

Рис. 19. Векторная диаграмма реле РН-55: \dot{U}_1 – напряжение, приложенное к первой обмотке; \dot{U}_2 – напряжение, приложенное ко второй обмотке; \dot{U}_δ – разность векторов напряжений, приложенных к обмоткам; α – угол между векторами напряжений, подведенных к обмоткам



Для реле с одинаковыми обмотками

$$F = w | \dot{I}_1 + \dot{I}_2 | \quad (17)$$

или (с учетом полярности подведенных напряжений)

$$F = \frac{w}{Z_{обм}} | \dot{U}_1 - \dot{U}_2 | = \frac{w}{Z_{обм}} | \dot{U}_\delta |, \quad (18)$$

где $Z_{обм}$ — полное сопротивление цепи обмотки, равное

$$Z_{обм} = \sqrt{(R_{доб} + R_{обм})^2 + X_{обм}^2}, \quad (19)$$

где $R_{доб}$ — сопротивление добавочного резистора; $R_{обм}$ — активное сопротивление обмотки; $X_{обм}$ — индуктивное сопротивление обмотки.

При срабатывании реле электромагнитный момент $M_{эм}$ и момент противодействующей пружины $M_{пр}$ равны.

Так как

$$M_{эм} = k_n F^2,$$

где k_n — коэффициент пропорциональности,

$$M_{пр} = k_n \left(\frac{w}{Z_{обм}} | \dot{U}_\delta | \right)^2. \quad (20)$$

Следовательно, условие срабатывания реле

$$U_{\delta ср}^2 = \frac{M_{пр} Z_{обм}^2}{w^2 k_n}. \quad (21)$$

По теореме косинусов

$$U_\delta^2 = U_1^2 + U_2^2 - 2U_1 U_2 \cos \alpha$$

или

$$\cos \alpha = \frac{U_1^2 + U_2^2 - U_\delta^2}{2U_1 U_2}. \quad (22)$$

При номинальных значениях напряжения

$$U_{\delta ср} = 2U_{ном} \sin^2 \frac{\alpha_{уст}}{2}. \quad (23)$$

При подстановке в (22) получаем условие срабатывания для реле с одинаковыми номинальными напряжениями обмоток

$$\alpha_{ср} = \arccos \frac{U_1^2 + U_2^2 - 4U_{ном}^2 \sin^2 \frac{\alpha_{уст}}{2}}{2U_1 U_2}. \quad (24)$$

Для реле с различными номинальными напряжениями формула имеет вид

$$\alpha_{ср} = \arccos \frac{U_1^2 + k_2^2 U_2^2 - 4U_{ном}^2 \sin^2 \frac{\alpha_{уст}}{2}}{2U_1 k_2 U_2}, \quad (25)$$

где $U_{ном}$ — номинальное напряжение первой обмотки; $k_2 = U_{ном} / U_{2 ном}$ — коэффициент, учитывающий разницу номинальных напряжений обмоток.

Из этого следует, что на угол срабатывания реле РН-55 оказывает влияние напряжение, приложенное к обмоткам реле. Данные, полученные экспериментально, совпадают с расчетными и приведены в табл. 9–11.

Таблица 9

| U_1 , В | Угол срабатывания, град, реле РН-55/200 на уставке 40° при U_2 , В | | | | | | | | | $U_{2 ср}$, В, при $\alpha = 0$ |
|-----------|---|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-------------------------------------|
| | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | |
| 80 | 56 | 58 | 58 | 56 | 54 | 51 | 48 | 44 | 38 | 12 |
| 90 | 36 | 47 | 48 | 49 | 49 | 47 | 45 | 42 | 38 | 21 |
| 100 | — | 29 | 38 | 42 | 43 | 43 | 42 | 40 | 38 | 32 |
| 110 | — | — | 25 | 34 | 37 | 39 | 37 | 38 | 36 | 42 |

Таблица 10

| U_1 , В | Угол срабатывания, град, реле РН-55/200 на уставке 20° при U_2 , В | | | | | | | $U_{2 ср}$, В, при $\alpha = 0$ |
|-----------|--|----|----|----|----|-----|-----|-------------------------------------|
| | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | |
| 80 | 14 | 23 | 25 | 26 | 22 | 18 | 10 | 45 |
| 90 | — | 13 | 21 | 23 | 22 | 20 | 16 | 56 |
| 100 | — | — | 11 | 18 | 20 | 20 | 19 | 65 |
| 110 | — | — | — | 11 | 17 | 19 | 19 | 74 |

Таблица 11

| U_2 , В | Угол срабатывания, град, реле РН-55/130 на уставке 36° при U_1 , В | | | | | | | | | $U_{1 ср}$, В, при $\alpha = 0$ |
|-----------|---|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-------------------------------------|
| | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | |
| 24 | 62 | 61 | 58 | 56 | 51 | 47 | 41 | 34 | 25 | 7 |
| 27 | 48 | 52 | 52 | 50 | 48 | 44 | 41 | 35 | 29 | 15 |
| 30 | — | 29 | 38 | 42 | 43 | 43 | 42 | 40 | 38 | 23 |
| 33 | — | — | 25 | 34 | 37 | 39 | 37 | 38 | 36 | 31 |

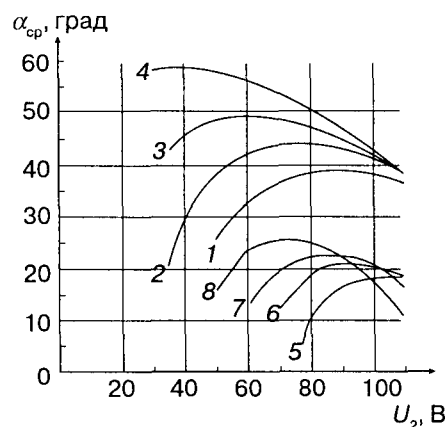


Рис. 20. Характеристики срабатывания реле РН-55/200 при различных напряжениях на входе реле

Из приведенных данных видно, что значительное увеличение угла срабатывания реле происходит при больших уставках реле и снижении напряжений на обеих обмотках. Для системы это не представляет опасности, так как условия срабатывания реле повторяют условия допустимости включения частей системы (уравнительные токи и динамические нагрузки на генераторы снижаются со снижением напряжения). Снижение же напряжения на одном из объединяемых элементов и одновременное повышение на другом или одновременное повышение на обоих элементах при малых уставках снижает угол срабатывания реле, что может при некоторых дополнительных факторах привести к отказу АПВ. В примере на рис. 1 это нужно учитывать на линиях ВЛ 1 или ВЛ 8 (с одной стороны – мощный источник, с другой – длинная нагруженная линия).

Полупроводниковые реле РСФ-11 оказались не совсем удачным решением и в настоящее время сняты с производства. Однако до сих пор некоторое их количество хранится на складах и в релейных службах, поэтому уделим внимание и этим реле. По своим характеристикам они близки к реле РН-55. Имеют несколько модификаций с различными номинальными напряжениями. Но при выборе номинальных напряжений обмоток по аналогии с указанным реле была, видимо, допущена ошибка. Обмотка напряжением 30 В реле РН-55 при номинальном напряжении потребляет ток 0,15 А, что соответствует току вторичной обмотки существующих трансформаторов отбора напряжения. Соответствующая

Последняя колонка каждой таблицы соответствует пересечению характеристики с горизонтальной осью.

На рис. 20 приведены кривые, соответствующие расчетам и данным табл. 9, 10.

Кривые, приведенные на рисунке, соответствуют:

- 1) $\alpha_{уст} = 40^\circ$, $U_1 = 110$ В;
- 2) $\alpha_{уст} = 40^\circ$, $U_1 = 100$ В;
- 3) $\alpha_{уст} = 40^\circ$, $U_1 = 90$ В;
- 4) $\alpha_{уст} = 40^\circ$, $U_1 = 80$ В;
- 5) $\alpha_{уст} = 20^\circ$, $U_1 = 110$ В;
- 6) $\alpha_{уст} = 20^\circ$, $U_1 = 100$ В;
- 7) $\alpha_{уст} = 20^\circ$, $U_1 = 90$ В;
- 8) $\alpha_{уст} = 20^\circ$, $U_1 = 80$ В.

обмотка реле РСФ-11 имеет существенно меньшее потребление, что при этом токе вызовет значительно большее падение напряжения с вытекающими отсюда последствиями. Этот недостаток без труда преодолевается при наладке. Реле отличаются более широким диапазоном уставок и повышенной устойчивостью к вибрационным и ударным нагрузкам. Основные параметры реле приведены в табл. 12.

Таблица 12

| Тип реле | Номинальное напряжение, В | | Частота, Гц | Уставки срабатывания по углу сдвига фаз при номинальном напряжении, град |
|-----------|---------------------------|----------|-------------|--|
| | от шин | от линии | | |
| РСФ-11-09 | 60 | 30 | 50, 60 | 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70 |
| РСФ-11-12 | 60 | 60 | | |
| РСФ-11-13 | 100 | 30 | | |
| РСФ-11-16 | 100 | 60 | | |
| РСФ-11-20 | 100 | 100 | | |

Регулировка уставок – дискретная.

Коэффициент возврата по углу срабатывания при номинальных напряжениях не менее 0,85.

Разброс уставки срабатывания по углу сдвига фаз при номинальных напряжениях не более 5 %.

Время срабатывания реле при номинальных напряжениях и угле сдвига фаз, равном 1,5-кратному значению уставки, не более 0,07 с.

Относительная дополнительная погрешность угла срабатывания реле при изменении частоты входного напряжения на ± 3 Гц от номинальной не более ± 7 %.

Мощность, потребляемая реле по обеим цепям при номинальном напряжении и угле сдвига фаз между напряжениями, равном нулю, не более 5 В·А.

Реле длительно выдерживает без повреждения 110 % номинального напряжения в каждой цепи при угле сдвига фаз между напряжениями, равном нулю.

Коммутационная способность контактов выходного реле при напряжении от 24 до 250 В в цепях постоянного тока с постоянной времени индуктивной нагрузки не более 0,02 с:

отключаемая мощность не более 30 Вт;

ток отключения не более 1 А;

ток включения не более 5 А.

Коммутационная способность контактов выходного реле при напряжении от 24 до 250 В в цепях переменного тока при коэффициенте мощности не менее 0,4:

отключаемая мощность не более 250 Вт;

ток отключения не более 2 А;

ток включения не более 5 А.

Минимальный ток контактов 0,01 А при напряжении не ниже 110 В или 0,01 А при напряжении не ниже 24 В.

Длительно допустимый ток контактов 2,5 А.

Изоляция реле выдерживает между электрически несвязанными токоведущими частями, а также между ними и металлическими частями корпуса реле в течение 1 мин испытательное напряжение 2000 В переменного тока промышленной частоты, а раздвигающиеся в процессе работы контактные части реле – напряжение 500 В.

Реле имеет один замыкающий и один размыкающий контакты.

Упрощенная схема реле приведена на рис. 21.

Схема реле включает в себя блок питания и схему логики. Блок питания подключается к одному из контролируемых напряжений (напряжению на шинах $U_{\text{ш}}$ или напряжению более надежного источника). В схему логики через трансформатор $TV1$ подается напряжение, пропорциональное разности векторов напряжений линии $U_{\text{л}}$ и шин $U_{\text{ш}}$. Узел питания обеспечивает стабилизированным постоянным напряжением $\pm 15 \text{ В} \pm 10 \%$ реагирующий орган и нестабилизированным постоянным напряжением исполнительный орган.

Рис. 21. Упрощенная схема реле РСФ-11

Полная схема реле приведена на рис. 22.

На рисунке выделены элементы, размещенные за пределами печатной платы. Схемы реле различных модификаций различаются сопротивлениями резисторов на входе реле. Типы и номиналы их приведены в табл. 13.

Таблица 13

| Модификация реле | $R1$ МЛТ-1 | $R2$ МЛТ-1 | $R3$ С5-35В (7,5 Вт) |
|------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| РСФ-11-09 | $13 \text{ кОм} \pm 2 \%$ | $22,6 \text{ кОм} \pm 2 \%$ | $360 \text{ Ом} \pm 5 \%$ |
| РСФ-11-12 | $22,6 \text{ кОм} \pm 2 \%$ | $22,6 \text{ кОм} \pm 2 \%$ | $360 \text{ Ом} \pm 5 \%$ |
| РСФ-11-13 | $13 \text{ кОм} \pm 2 \%$ | $39,2 \text{ кОм} \pm 2 \%$ | $1,3 \text{ кОм} \pm 5 \%$ |
| РСФ-11-16 | $22,6 \text{ кОм} \pm 2 \%$ | $39,2 \text{ кОм} \pm 2 \%$ | $1,3 \text{ кОм} \pm 5 \%$ |
| РСФ-11-20 | $39,2 \text{ кОм} \pm 2 \%$ | $39,2 \text{ кОм} \pm 2 \%$ | $1,3 \text{ кОм} \pm 5 \%$ |

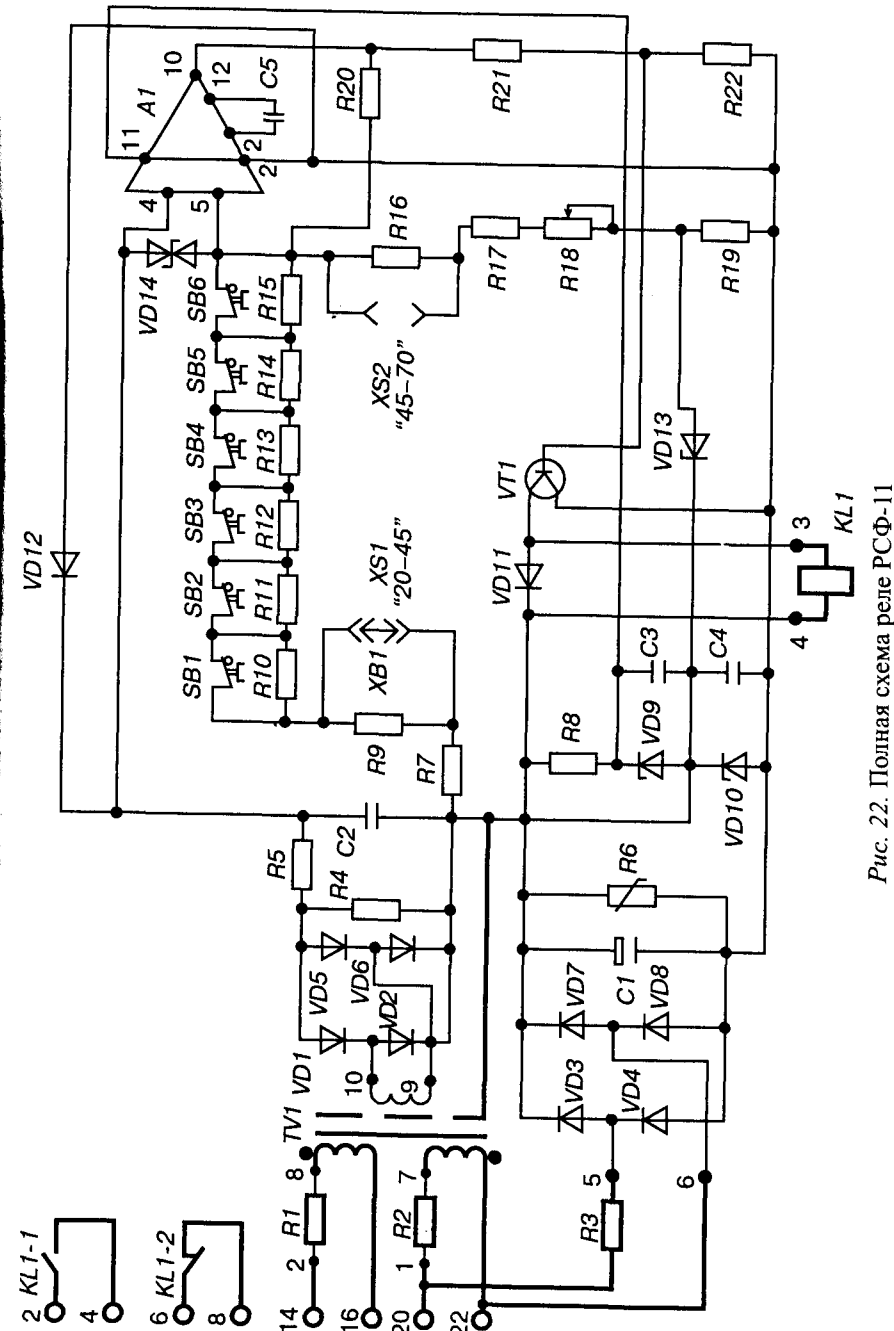


Рис. 22. Полная схема реле РСФ-11

Данные остальных элементов схемы приведены в табл. 14.

Таблица 14

| Обозначение по схеме | Наименование и тип | Технические данные | Количество |
|----------------------------------|--------------------|-------------------------|------------|
| <i>Конденсаторы</i> | | | |
| C1 | K50-29 | 160 В 47 мкФ | 1 |
| C2 | K73-17 | 250 В 1,0 мкФ $\pm 5\%$ | 1 |
| C3, C4 | K10Y-5 | 25 В 0,15 мкФ Н90 | 2 |
| C5 | КД-1-М1500 | 33 пФ $\pm 20\%$ | 1 |
| <i>Приборы полупроводниковые</i> | | | |
| A1 | Микросхема К553УД2 | — | 1 |
| VD1, VD2, VD5, VD6, VD12 | Диод КД522Б | — | 5 |
| VD3, VD4, VD7, VD8, VD11 | Диод КД209Б | — | 5 |
| VD9, VD10 | Стабилитрон КС515А | — | 2 |
| VD13 | Стабилитрон Д818Д | — | 1 |
| VD14 | Стабилитрон КС162А | — | 1 |
| VT1 | Транзистор КТ940В | — | 1 |
| <i>Резисторы</i> | | | |
| R4 | МЛТ-0,125 | 3,01 кОм $\pm 2\%$ | 1 |
| R5 | МЛТ-0,125 | 20 кОм $\pm 5\%$ | 1 |
| R6 | Варистор СН1-2-1 | 100 В $\pm 20\%$ | 1 |
| R7 | МЛТ-0,125 | 75 Ом $\pm 2\%$ | 1 |
| R8 | МЛТ-2 | 1,3 кОм $\pm 5\%$ | 1 |
| R9, R16 | МЛТ-0,125 | 232 Ом $\pm 2\%$ | 2 |
| R10 | МЛТ-0,125 | 48,7 Ом $\pm 2\%$ | 1 |
| R11 | МЛТ-0,125 | 105 Ом $\pm 2\%$ | 1 |
| R12 | МЛТ-0,125 | 165 Ом $\pm 2\%$ | 1 |
| R13 | МЛТ-0,125 | 226 Ом $\pm 2\%$ | 1 |
| R14 | МЛТ-0,125 | 280 Ом $\pm 2\%$ | 1 |
| R15 | МЛТ-0,125 | 324 Ом $\pm 2\%$ | 1 |
| R17 | МЛТ-0,125 | 2,1 кОм $\pm 2\%$ | 1 |
| R18 | СПЗ-44Б-0,5 | 1,5 кОм $\pm 20\%$ | 1 |
| R19 | МЛТ-0,5 | 560 Ом $\pm 5\%$ | 1 |
| R20 | МЛТ-0,125 | 82 кОм $\pm 5\%$ | 1 |

Окончание табл. 14

| Обозначение по схеме | Наименование и тип | Технические данные | Количество |
|------------------------|--------------------------|--|------------|
| R21 | МЛТ-0,125 | 16 кОм $\pm 5\%$ | 1 |
| R22 | МЛТ-0,125 | 1 кОм $\pm 5\%$ | 1 |
| <i>Прочие элементы</i> | | | |
| KL1 | Реле промежуточное | W = 13 000 витков ГЛ-1-0,08 R = = 2 000 Ом U _н = 48 В | 1 |
| TV1 | Трансформатор напряжения | w ₁ = w ₂ = 800 витков ПЭВ-2-0,08 Экран ПЗВ-2-0,14 (один слой) w ₃ = 3000 витков ПЭВ-2-0,08 Сердечник ШЛ 10 × 16 | 1 |
| SB1–SB6 | Переключатель | — | 6 |
| XS1, XS2 | Переключатель | — | 2 |
| XB1 | Перемычка | — | 1 |

Узел питания подключается к напряжению, снимаемому с трансформатора напряжения, установленного на шинах подстанции (зажимы 20, 22 реле). Включает в себя резистор R3, выпрямительные мосты VD3, VD4, VD7, VD8, конденсатор C1, резистор R8, стабилитроны VD9, VD10 с параллельно подключенными конденсаторами C3, C4. Конденсаторы C3, C4 повышают помехоустойчивость схемы. Балластный резистор R3 обеспечивает необходимый диапазон напряжений питания УП при различных напряжениях на входе реле. Варистор R6 защищает схему от перенапряжений.

Основные элементы реагирующего органа – входной трансформатор TV1 и триггер Шмитта, собранный на операционном усилителе A1.

Напряжения от измерительных трансформаторов напряжения или емкостных отборов напряжения шин U_ш и линии U_л через балластные резисторы R1 и R2 подаются на первичные обмотки w₁ и w₂ трансформатора TV1. Резисторами R1 и R2 выполняется согласование дальнейших элементов схемы с различными входными напряжениями (см. табл. 13), поэтому остальные элементы для различных модификаций реле одинаковы. После выпрямления на диодах VD1, VD2, VD5, VD6 и сглаживания цепочкой R5, C2 сигнал подается на инвертирующий вход A1. Делитель из резисторов R7, R9–R19, подклю-

ченный к неинвертирующему входу $A1$, задает напряжение, соответствующее уставке по углу срабатывания.

Весь диапазон регулирования уставки разбит на два поддиапазона. При положении переключки $XB1$ в гнезде $XS1$ обеспечивается дискретное регулирование уставок через 5° переключателями $SB1-SB6$ в диапазоне $20-45^\circ$, а при положении $XB1$ в $XS2$ – в диапазоне $45-70^\circ$.

Питание делителя выполнено от стабилизирующей цепочки $R19, VD13$.

Резистор $R18$ позволяет подстроить соответствие шкалы углу срабатывания реле.

Стабилитрон $VD14$ защищает операционный усилитель от высоких входных сигналов. Диод $VD12$ повышает помехозащищенность схемы и предотвращает кратковременное срабатывание реле при подаче напряжения.

Соотношением сопротивления обратной связи $R20$ и плеч делителя обеспечивается работа реле без вибрации и требуемый коэффициент возврата.

Исполнительный орган состоит из усилительного каскада на транзисторе $VT1$ и выходного реле $KL1$, включенного в цепь коллектора транзистора. Параллельно реле подключен защитный диод $VD11$. Управляющий сигнал на транзистор подается через токозадающий резистор $R21$. Резистор $R22$ обеспечивает надежный режим отсечки $VT1$.

Сигнал, снимаемый с вторичной обмотки w_3 , прямо пропорционален модулю разности векторов напряжений \dot{U}_w и \dot{U}_n :

$$U_\Delta = k|\dot{U}_w - \dot{U}_n|.$$

Это соответствует выражению (16) для реле РН-55. Дальнейшие расчеты по соответствию угла срабатывания значению входных напряжений применимы и для реле РСФ-11.

В табл. 15 приведены данные зависимости углов срабатывания реле от напряжения на обмотках для реле РСФ-11–РСФ-13 на уставке 46° , полученные экспериментально.

Таблица 15

| $U_1, В$ | Угол срабатывания реле, град., при $U_2, В$ | | | | | | U_{1cp} при $\alpha = 0$ |
|----------|---|----|----|----|----|----|----------------------------|
| | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 33 | |
| 90 | 56 | 59 | 58 | 55 | 51 | 48 | 4 |
| 100 | 35 | 48 | 51 | 50 | 48 | 46 | 7 |
| 110 | – | 35 | 43 | 45 | 44 | 43 | 10 |

Так как одно из сравниваемых напряжений (U_w) используется для питания полупроводниковой части, реле ведет себя неравнозначно при исчезновении одного из входных напряжений. При исчезновении напряжения U_n реле сработает, при исчезновении U_w срабатывания не будет. Снижение питающего напряжения по любой цепи до $0,8U_{ном}$ не изменяет характеристики реле более, чем для реле РН-55.

Реле контроля напряжения на линии. Типовым проектным решением до 1981 г. в качестве реле контроля напряжения на линии предусматривалось применение реле тока типа РТ-40/0,2. Опыт эксплуатации показал, что это недостаточно удачное решение. Реле РТ-40 не предназначены для длительного нахождения под током, контакты их подвержены значительной вибрации. Это вызывало отказы АПВ (излишние срабатывания при залипании контактов или несрабатывание при их разрушении). В различных энергосистемах разрабатывались альтернативные схемы или аппаратура для выполнения этой задачи. Последним типовым проектом предусматривается применение в качестве реле РНЛ статических реле тока РСТ-11-04 с диапазоном уставок $0,05-0,2 А$. Технические данные и методика их проверки приведены в [9].

В типовых проектах, разработанных после 1981 г. (например, в [15]), рекомендованы к применению модернизированные реле типа РН-53/60 или РН-54/48. Данные обмоток реле одинаковы. Схема модернизации приведена на рис. 23.

В качестве шунта применяется регулируемый резистор типа ПЭВ-10. Сопротивление резистора R_w подбирается экспериментально в процессе наладки (приведено далее).

В табл. 16 приведены ориентировочные значения шунтирующих сопротивлений для РНЛ типа РН-54/48.

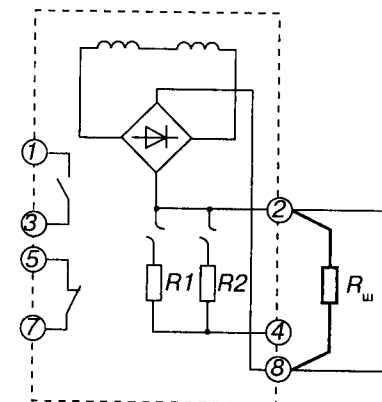


Рис. 23. Схема модернизации реле типа РН-54/48

Таблица 16

| Диапазон уставок реле $I_{cp} / I_{ном}$ | Номинальный вторичный ток ТОН $I_{ном}, А$ | Сопротивление $R_{ш1}, Ом$ | Сопротивление цепи реле, Ом |
|--|--|----------------------------|-----------------------------|
| 0,25 – 0,5 | 0,15 | 250 | 127 |
| 0,5 – 1,0 | 0,15 | 100 | 72 |
| 0,25 – 1,0 | 0,075 | – | 260 |
| 0,5 – 1,0 | 0,075 | 250 | 127 |

Реле контроля напряжения на шинах. В качестве реле контроля напряжения на шинах используются обычные электромагнитные или полупроводниковые реле напряжения. Их конструкция и методика проверок подробно описаны в [8, 9] и повторять их нет необходимости.

Реле РСНФ-12 одновременно выполняет функции органа сравнения фаз напряжения на линии и напряжения на шинах. Реле может применяться как в комплексе АПВ, так и в других схемах синхронизации.

Канал сравнения сдвига фаз имеет диапазон уставок от 4 до 90° с дискретной регулировкой через 2°, что намного превышает возможности реле РН-55 и РСФ-11.

Канал контроля напряжения на линии имеет фиксированную уставку $U_{\text{ср.л}} = 0,5 U_{\text{ном}}$, коэффициент возврата $k_{\text{в}} \leq 1,2$. Допустимые номинальные напряжения канала – 15, 30, 60, 100 В.

Канал контроля напряжения на шинах имеет фиксированную уставку $U_{\text{ср.ш}} = 0,5 U_{\text{ном}}$, коэффициент возврата $k_{\text{в}} = 0,85 \div 0,95$. Допустимые номинальные напряжения канала – 60 и 100 В.

Реле допускает колебания частоты, и разброс контролируемых напряжений у него существенно выше, чем у реле РН-55 и РСФ-11.

В дополнение к основным возможностям реле выполняет непрерывный контроль исправности собственной схемы реле и связанной с ним схемы синхронизации, а также позволяет проводить тестовый контроль исправности схемы.

Это реле, в отличие от реле РСФ-11, приспособлено к работе с емкостным отбором напряжения, но и здесь, как и у предшественников, в технических данных указывается не ток отбора, а соответствующее ему напряжение, что не всегда оправдано.

В связи с некоторыми особенностями схемы и уставок реле не может быть использовано в качестве органа контроля отсутствия напряжения на линии и наличия напряжения на шинах.

Более подробные технические данные и указания по проверке приведены в [10]. В связи с тем, что это издание вышло недавно, повторять изложенное в нем нет необходимости.

7. ПРОВЕРКА И НАСТРОЙКА АППАРАТУРЫ

Шкафы отбора напряжения. Рекомендуемый объем проверок при новом включении:

- внешний и внутренний осмотр;
- проверка схемы соединения;
- проверка и испытание изоляции;
- проверка дросселя;
- проверка конденсатора;
- проверка разрядника;
- проверка трансформаторов отбора.

При проверке схемы внешних соединений нужно обратить особое внимание на подключение первичной цепи. В первую очередь необходимо осмотреть состояние заземляющего ножа и ошиновки.

Подключение шкафа отбора и заземляющего ножа к нижней обкладке конденсатора связи отдельными спусками (рис. 24, вариант 1) опасно, так как при нарушении контакта ошиновки ЗН в месте соединения с конденсатором напряжение на выводе ШОН со включенным ножом не исчезнет. Более надежно последовательное соединение КС – ЗН – ШОН (вариант 2). Если есть сомнения в надежности заземления, нужно установить дополнительное переносное заземление на ошиновке ШОН.

При осмотре шкафа и его элементов необходимо проверить:

- надежность уплотнения проходов кабелей;
- отсутствие механических повреждений и загрязнений;
- надежность замыкания контактов заземляющего рубильника;
- состояние коммутационной аппаратуры, винтовых и паяных соединений.

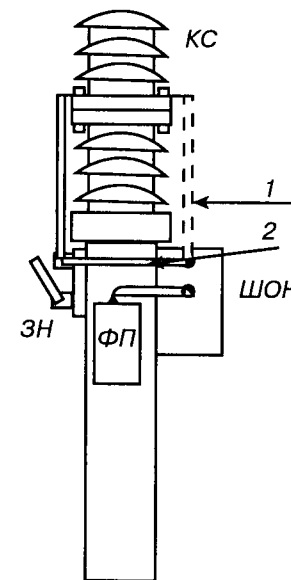


Рис. 24. Подключение шкафа отбора напряжения к конденсатору связи:
ЗН – заземляющий нож;
ФП – фильтр присоединения

При первом включении ШОН необходимо проследить внутреннее подключение выводов от конденсатора связи и к фильтру соединения внутри шкафа. Если выводы конденсатора связи и фильтра присоединения будут перепутаны, к разделительному конденсатору будет приложено напряжение, превышающее допустимое.

В шкафах отбора напряжения, выпущенных в разное время, разрядники подключались в различных точках схемы (см. рис. 8). Первоначальное место их подключения – между проходным изолятором от конденсатора связи, разделительным конденсатором и дросселем. Затем для исключения шунтирования ВЧ каналов защиты и связи были перенесены за дроссель в точку подключения ТОН. Но последнее типовое проектное решение [15] предусматривает их подключение до дросселя, так как разрядники последних лет выпуска удовлетворяют требованиям, предъявляемым к разрядникам в фильтрах присоединения (см. далее проверку разрядника), а перенос разрядника за дроссель ухудшает защиту элементов шкафа.

Вторичная цепь неиспользуемого трансформатора отбора, если он подключен к действующей схеме, должна быть закорочена на ближайшей сборке зажимов для обеспечения контроля исправности цепи.

Необходимо проверить изоляцию элементов схемы относительно «земли» и между обмотками ТОН. Сопротивление изоляции должно быть не ниже 5 МОм. Испытание изоляции напряжением промышленной частоты 1000 В может быть выполнено при полностью собранной схеме с учетом особенностей изоляции полупроводниковых реле.

Проверка дросселя. При проверке необходимо измерить:

активное сопротивление дросселя R мостом постоянного тока или другим методом;

полное сопротивление дросселя на переменном токе измерением падения напряжения при подаче переменного тока $I = 1$ А. Сопротивление при этом равно, Ом,

$$Z = \frac{\Delta U}{I}, \quad (26)$$

где I – ток в дросселе, А; ΔU – падение напряжения, В.

Далее рассчитывают индуктивное сопротивление дросселя, Ом, по формуле

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2} \quad (27)$$

и индуктивность дросселя, Гн,

$$L = \frac{X}{\omega}, \quad (28)$$

где $\omega = 2\pi f$ – угловая частота.

Для рабочей частоты $f = 50$ Гц, $\omega = 314$. (По заводским данным $L = 100$ мГн.)

Проверка конденсатора. Измеряется ток I в конденсаторе при подаче напряжения $U = 100$ В и вычисляется емкостное сопротивление X_c , Ом, и емкость конденсатора, Ф,

$$X_c = \frac{U}{I}, \quad (29)$$

$$C = \frac{1}{\omega X_c}. \quad (30)$$

Измеренная емкость должна соответствовать паспортным данным с точностью $\pm 10\%$.

Проверка разрядника. Разрядник испытывают напряжением промышленной частоты. Пробивное напряжение должно находиться в пределах 2,5–4 кВ в зависимости от типа разрядника. При меньших значениях устанавливается два разрядника последовательно. При этом суммарное пробивное напряжение не должно превышать 4 кВ.

Проверка сопротивления резистора R выполняется только у шкафов типа ШОН-1, ШОН-2.

Сопротивление определяют мостом постоянного тока. Резисторы типа ПЭВ-25 сопротивлением 2000 Ом соединяются последовательно при питании устройства отбора от конденсатора типа СМР-55/ $\sqrt{3}$ -0,0044 и параллельно при питании от конденсатора связи типа СМР-110/ $\sqrt{3}$ -0,0064 или СМР-166/ $\sqrt{3}$ -0,014.

Проверка трансформаторов отбора напряжения. Проверяется вольт-амперная характеристика (характеристика насыщения). Характеристика снимается до напряжения 190 В, приведенного к первичной обмотке. При этом ток не должен превышать 10 % номинального.

На токи намагничивания заметно влияют характеристики материала магнитопровода. В связи с этим характеристики для нескольких ТОН могут отличаться друг от друга более чем на 50 %. Но характеристики одного и того же ТОН, снятые при последующих проверках, не должны отличаться от первоначальных. «Уход» характеристики свидетельствует о наличии короткозамкнутых витков.

Далее проверяется идентичность первичных обмоток. Проверка производится только для трансформаторов отбора с секционированными первичными обмотками (шкафы ШОН-1 – ШОН-4, ШОН-201). Существенное различие в количестве витков может привести к перегрузке отдельных обмоток и их перегреву.

Для выполнения проверки все секции обмотки нужно соединить параллельно с учетом полярности. При этих условиях повторно снимают вольт-амперную характеристику. Данные замеров с точностью до 10 % должны соответствовать снятой вольт-амперной характеристике при разомкнутых первичных обмотках. Увеличение тока более чем на 10 % указывает на разницу в витках одной или более первичных обмоток или на наличие замкнутых витков.

Проверка идентичности вторичных обмоток производится для трансформаторов отбора с секционированными обмотками (ШОН-201). Выполняется аналогично проверке идентичности первичных обмоток.

Проверка коэффициента трансформации. Перед проверкой нужно предварительно посчитать ожидаемое число витков вторичной обмотки. Расчет ведется по формуле

$$w_2 = \frac{i_1}{i_2} w_1, \quad (31)$$

где i_1 — действительный ток первичной обмотки с учетом погрешности конденсатора связи (см. рис. 8), найденный из выражения (14); i_2 — необходимый для релейной аппаратуры вторичный ток; w_1 — число витков первичной обмотки.

Для шкафа отбора типа ШОН-301 ($w_1 = 1700$) с конденсатором связи СМК-110/ $\sqrt{3}$ -0,0064 ($i_1 = 0,128$ А) и необходимом вторичном токе 0,15 А необходимое количество витков вторичной обмотки:

$$w_2 = \frac{0,128}{0,15} 1700 = 1450 \text{ вит.},$$

что соответствует номинальному числу витков.

Коэффициент проверяется для всех предусмотренных заводом схем соединения ТОН.

Проверка выполняется при подаче тока в первичную обмотку ТОН. Вторичная обмотка включена либо на реальную нагрузку, либо на активное сопротивление 500–600 Ом. Коэффициент трансформации должен соответствовать данным табл. 4–6.

Допустимо проверять коэффициент трансформации только на рабочей отпайке, а правильность выполнения других отпайек вторичной обмотки оценивать по изменению падения напряжения на отпайках. Для этого на первичную обмотку надо подать переменное напряжение $U = 100$ В и вольтметром с внутренним сопротивлением не менее 20 кОм/В измерить падение напряжения на каждой из отпайек ненагруженной вторичной обмотки. При этом изменение падения напряжения должно быть пропорционально изменению числа витков обмотки.

Рабочий коэффициент трансформации устанавливается окончательно в процессе проверки рабочим напряжением подбором отпайек вторичной обмотки.

Реле контроля синхронизма РН-55. В объем проверок при новом включении входят:

- внешний и внутренний осмотр;
- проверка механической части;
- проверка и настройка характеристик срабатывания;
- проверка полярности обмоток;
- проверка реле на отсутствие вибрации.

Проверка механической части реле включает в себя проверку надежности болтовых и паяных соединений, качество механической регулировки.

Требования к механической регулировке:

якорь реле должен поворачиваться свободно, без трения, имея поперечный и продольный зазор в осях 0,15–0,2 мм. Зазор между плоскостью якоря и полюсами магнитопровода должен быть равномерным при втянутом якоре 0,6–0,7 мм;

упоры должны быть надежно зафиксированы и правильно установлены, позволяя пружинам неподвижных контактов под действием мостика прогибаться не менее чем на 0,5 мм;

плоскость спиральной пружины должна быть строго перпендикулярна оси якоря, между витками пружины должен сохраняться равномерный зазор при изменении уставки во всем диапазоне;

неподвижные контакты должны находиться в одной плоскости, иметь одинаковый прогиб и замыкаться мостиком одновременно. Бронзовая контактная пластина с наваренной серебряной полоской при разомкнутых контактах должна касаться передних упоров без давления. Зазор между бронзовой контактной пластиной и задним упором должен быть равен 0,2–0,3 мм;

зазор между мостиком с подвижными и замыкающими контактами (ход контактов до замыкания) должен составлять 1,8–2 мм, а прогиб пружин размыкающих контактов — не менее 0,5 мм;

серебряный мостик якоря должен свободно поворачиваться на своей оси на угол 5–8°, при этом осевой люфт мостика должен быть в пределах 0,1–0,15 мм;

совместный ход контактов должен быть не менее 1–1,5 мм. Встреча мостика с контактом должна происходить на расстоянии 1/3 длины контакта от переднего края и не доходить на 1/3 до заднего края серебряного контакта во избежание заскакивания контакта.

Проверка и настройка характеристик срабатывания. Нужно помнить, что реле контроля синхронизма — это максимальное реле,

т. е. коэффициент возврата его меньше единицы. Угол срабатывания (размыкание контакта 5–7 на рис. 23) – предельный угол, при котором разрешается подача импульса на включение. Настройка его как минимального реле приводит к необоснованному расширению диапазона работы.

Настройка может выполняться непосредственным (с измерением угла) или косвенным (с измерением напряжений и последующим пересчетом) способом.

Не рекомендуется настраивать реле на уставку более 40° увеличением затяжки пружины. Если задана уставка, не предусмотренная изготовителем, нужно использовать методы, приведенные ниже.

Для проверки реле непосредственным способом на обмотки реле подаются номинальные напряжения. При изменении угла между подведенными напряжениями определяются углы срабатывания и возврата в начале и в конце шкалы. Углы срабатывания, возврата и коэффициент возврата связаны отношением (7).

Погрешность срабатывания по углу не должна превышать 8 %, разброс – 5 %. Коэффициент возврата по углу должен быть не менее 0,8.

В последнее время в эксплуатации появились новые типы проверочных установок. Для проверки реле контроля синхронизма могут быть применены установка УРАН-2 (НПФ «РАДИУС»), установка УПРЗ-1 (ОЗАП ОАО «МОСЭНЕРГО») и испытательная система РЕЛЕ-ТОМОГРАФ-41М (НПП «ДИНАМИКА»).

Испытательная система РЕЛЕ-ТОМОГРАФ-41М существенно отличается от ранее используемых установок.

В пакете программ для этой системы имеется программа проверки реле серии РН-55, предназначенная для проверки большого количества реле этой серии. Программа позволяет:

- производить проверку технических параметров реле (угла срабатывания и возврата, напряжения срабатывания и возврата, коэффициента возврата, зависимости угла срабатывания от частоты);
- вести протокол проведенных испытаний и архив протоколов;
- производить точную настройку рабочей уставки реле;
- настраивать параметры испытаний.

Помимо этой программы каждое из рассмотренных выше реле можно проверить в программе «Ручное управление независимыми источниками U , I ». Она позволяет выполнить все, что предусмотрено программой проверки реле серии РН-55.

Так как сегодня наиболее распространены установки У5053 и их аналог ЭУ5000, рассмотрим подробнее проверку реле с их помощью. Установки УРАН-2 и УПРЗ-1 близки к ним по техническим характеристикам и методика проверки реле контроля синхронизма с их помощью такая же.

Рис. 25. Схема проверки реле непосредственным способом с помощью устройства У5053

Схема проверки реле, обе обмотки которого подключаются к трансформаторам напряжения, с помощью установки У5053 приведена на рис. 25.

Перед включением установки переключатели нужно установить так, как показано ниже:

| S6 | S7 | S15 | S16 | S17 | S18 | S19 | S21 | S25 | S26 | S29 | S31 |
|----------|----------|-----|------|------|-----|-----|-----|-------|-----|-------|-------|
| $\sim U$ | $\sim U$ | 5 А | 25 А | 25 А | АВ | 5 А | 70 | Внеш. | АВ | Откл. | 2ф.КЗ |

Если переключатель S21 будет установлен на меньшую величину, фазоизмеритель стенда может быть поврежден.

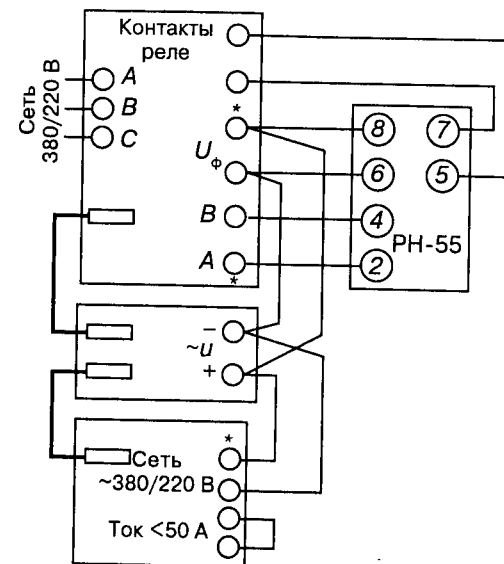
При проверке реле необходимо:

переключателем S9 и ручкой T1 по измерителю тока и напряжения отрегулировать напряжение, равное номинальному напряжению подключенной обмотки;

включить S8 и S28, снять показания измерителя угла сдвига фаз, которые принимаются за условный «нуль»;

S25 перевести в положение «внутр.», переключателем S24 и ручкой T5 отрегулировать напряжение, равное номинальному напряжению подключенной обмотки (кл. 6–8);

при вращении фазорегулятора проверить углы между напряжениями, соответствующие срабатыванию и возврату реле (угол сдвига фаз определять по разнице имеющихся показаний угла сдвига фаз и условно принятого «нуля»). Для исключения угловых погрешностей схемы измерений определение углов срабатывания и возврата на каждой уставке нужно выполнить дважды: при напряжении на одном из входов опережающем, а затем отстающем по фазе от напряжения на другом входе. За действительное значение угла срабатывания или возврата принимается среднее арифметическое значение полученных результатов измерений. Регулировка реле по углу срабатывания и коэффициенту возврата производится аналогично реле РТ-40.



Окончательная проверка уставки должна выполняться в полной схеме.

Если одна из обмоток реле подключена к емкостному отбору напряжения, приведенный метод дает значительную погрешность. Это связано с тем, что угол срабатывания, измеренный между векторами тока и напряжения, отличается от угла срабатывания, измеренного между векторами напряжений. Настройку реле в этом случае нужно производить с имитацией условий работы реле в схеме емкостного отбора. Методика, приведенная в [2], предусматривает проверку комплекта, включающего в себя шкаф отбора напряжения и реле контроля синхронизма. Схема проверки при этом получается довольно громоздкая и может быть выполнена только до установки ШОН на постоянное место. Проще выполнить настройку реле обычным способом с подачей в обе обмотки напряжений по приведенной выше схеме, а при проверке в комплексе проверить уставку по углу, как будет сказано ниже.

Проверка косвенным способом основана на том, что реле типа РН-55 контролирует не угол между напряжениями, а разность векторов подведенных к обмоткам напряжений (см. рис. 19). Приводим две методики проверки реле косвенным методом.

Для проверки параметров срабатывания косвенным способом применяются схемы, приведенные на рис. 26–29. На рис. 26 и 27 приведены схемы, предлагаемые [2].

Схема проверки (рис. 26) применяется для проверки реле типа РН-55 с одинаковыми номинальными напряжениями обмоток. При этом напряжение срабатывания и возврата и соответствующие им углы определяются по формуле

$$U_{\delta_{\text{ср}}} = 2U_{\text{ном}} \sin \frac{\alpha_{\text{ср}}}{2}, \quad (32)$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение обмоток реле; $\alpha_{\text{ср}}$ – угол срабатывания.

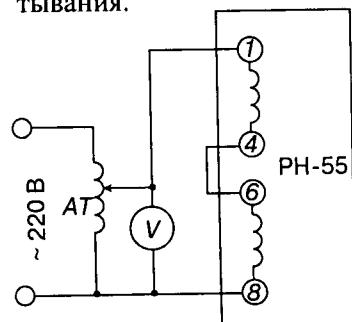


Рис. 26. Схема проверки реле с обмотками на одинаковые номинальные напряжения косвенным способом (вариант 1)

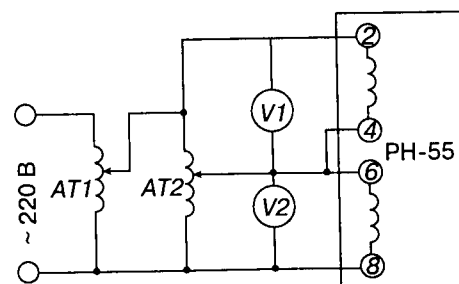


Рис. 27. Схема проверки реле с обмотками на разные номинальные напряжения косвенным способом (вариант 1)

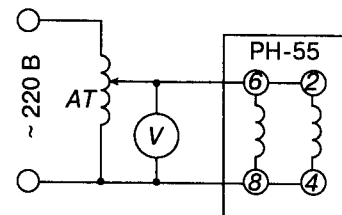


Рис. 28. Схема проверки реле с обмотками на одинаковые номинальные напряжения косвенным способом (вариант 2)

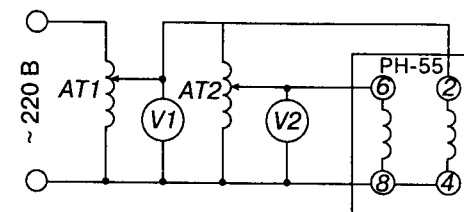


Рис. 29. Схема проверки реле с обмотками на разные номинальные напряжения косвенным способом (вариант 2)

Для модификаций реле с различными номинальными напряжениями обмоток проверка ведется по схеме рис. 27.

При проверке реле (см. схему на рис. 27) необходимо:

с помощью автотрансформаторов $AT1$ и $AT2$ на обмотках реле установить номинальные напряжения;

не изменяя положения движка автотрансформатора $AT2$ изменением напряжения, снимаемого с автотрансформатора $AT1$, добиться срабатывания и возврата реле и определить напряжение срабатывания и возврата одной из обмоток реле. Напряжение срабатывания определить по формуле, подобной (23)

$$U_{\delta_{\text{ср}}} = U_{\text{ном}} \sin \frac{\alpha_{\text{ср}}}{2}, \quad (33)$$

где $\alpha_{\text{ср}}$ – угол срабатывания; $U_{\text{ср}}$ – напряжение срабатывания одной из обмоток; $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение соответствующей обмотки.

Второй метод проверки реле принципиально не противоречит вышеприведенному. Схема для проверки реле типа РН-55/200 приведена на рис. 28 и позволяет использовать формулу (33) для любой модификации реле.

Схема на рис. 29 используется для проверки реле типа РН-55 с различными номинальными напряжениями обмоток.

Порядок выполнения проверки по схеме, приведенной на рис. 29, аналогичен порядку проведения проверки по схеме, приведенной на рис. 27.

В табл. 17 приведены расчетные напряжения для различных углов срабатывания при выполнении проверок по схемам рис. 27–рис. 29. При выполнении проверок по схеме, приведенной на рис. 26, напряжения нужно умножить на 2.

Таблица 17

| Номинальное напряжение обмотки, В | Напряжение срабатывания, В, соответствующее уставке, град | | | | |
|--------------------------------------|---|------|------|----|------|
| | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |
| 100 | 17,3 | 21,6 | 25,9 | 30 | 34,2 |
| 60 | 10,4 | 13,0 | 15,5 | 18 | 20,5 |
| 30 | 5,2 | 6,5 | 7,8 | 9 | 10,3 |

В некоторых источниках [9, 11] предлагается выполнять предварительную проверку реле при подаче питания в одну обмотку и разомкнутой второй обмотке. Напряжение срабатывания в этих источниках предлагается рассчитывать по формуле (32).

В действительности напряжения срабатывания реле при проверке с разомкнутой обмоткой отличаются от расчетного значения на 10–20 % в зависимости от уставки и номинального напряжения обмотки. Если во время проверки вторую обмотку закоротить, результат будет значительно ближе к расчетному (табл. 15). Кроме того, проверка срабатывания по одной обмотке не выявляет возможный обрыв во второй. Чтобы этого избежать, нужно выполнять проверку при поочередной подаче напряжения в обе обмотки.

Окончательная настройка реле на заданную уставку производится в полной схеме.

Проверка полярности обмоток. Для проверки однополярных выводов обмоток необходимо определить напряжение срабатывания реле в двух вариантах последовательного соединения обмоток:

при согласном соединении обмоток (напряжение подается на выводы 2–8, перемычка устанавливается – на 4–6);

при встречном соединении обмоток (напряжение подается на выводы 4–8, перемычка устанавливается – на 2–6).

Минимальному напряжению срабатывания реле соответствует согласное соединение обмоток. При встречном соединении обмоток напряжение срабатывания увеличится, а при одинаковых номинальных напряжениях реле срабатывать не должно.

Однополярными выводами у реле являются 2 и 6. Под однополярными выводами обычно понимаются выводы, при подведении к которым одноименных электрических величин магнитные потоки суммируются. Для удобства наладки на реле красными точками отмечены выводы 2 и 8. Реле не срабатывает при подаче одноименных фаз на выводы, отмеченные точкой. Если при настройке реле по схемам рис. 26 и 28 объединить выводы, отмеченные красными точками, реле срабатывать не будет. В полной схеме на эти выводы должно быть подано напряжение одноименных фаз.

Векторная диаграмма реле контроля синхронизма при подключении одной обмотки на напряжение U_{A0} линии через емкостный отбор, а второй – на напряжение U_{BC} шин через трансформатор напряжения приведена на рис. 30.

Вектор тока в конденсаторе I_1 опережает вектор соответствующего напряжения \dot{U}_A . Вектор тока I_2 во вторичной обмотке ТОН совпадает по фазе с вектором тока I_1 . При подключении обмотки 2–4 на напряжение U_{BC} (ток I_3) результирующий магнитный поток в реле близок к нулю.

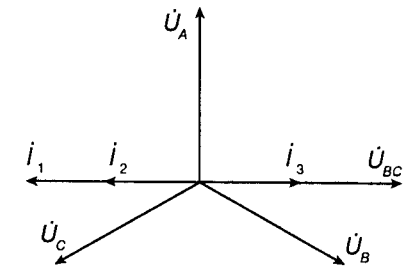


Рис. 30. Векторная диаграмма распределений токов и напряжений реле контроля синхронизма

Проверка работы контактов реле на отсутствие вибрации.

При кратковременной подаче на одну из обмоток реле напряжения, равного $2,2 U_{ном}$, необходимо проконтролировать замкнутое состояние контактов 1–3 и разомкнутое состояние контактов 5–7. При подключении к контактам реле номинальной нагрузки проверить отсутствие искрения на контактах. При необходимости произвести механическую регулировку контактов с последующей перепроверкой электрических характеристик.

Желательно проверить ток в закороченной обмотке, подключаемой к емкостному отбору, при подаче номинального напряжения на вторую обмотку. Ток должен быть в 1,5–2 раза больше, чем ток срабатывания реле контроля напряжения на линии. Если это условие не выполняется, возможно срабатывание указанного реле при замыкании между жилами кабеля (цепи отбора), что может привести к излишнему срабатыванию устройства контроля синхронизма или отказу АПВ с контролем отсутствия напряжения на линии.

Реле контроля синхронизма РСФ-11. Объем проверок аналогичен объему проверок реле РН-55 за исключением проверки реле на отсутствие вибрации подачей повышенного напряжения.

Так как потребление обмоток реле значительно меньше, чем аналогичных обмоток РН-55, реле не могут быть подключены к емкостному отбору напряжения без принятия дополнительных мер. Обмотку реле, подключаемого к емкостному отбору напряжения, необходимо зашунтировать активным сопротивлением (на рис. 8 резистор $R_{ш2}$). Для обмотки с номинальным напряжением 30 В, подключаемой к отбору напряжения со вторичным током 0,15 А, сопротивление должно быть около 200 Ом, мощность – не менее 4,5 Вт. Проектным решением [15] предусмотрено применение двух последовательно

соединенных резисторов ПЭВ-10 100 Ом и ПЭВР-10 150 Ом. Может быть применено реле и с номинальным напряжением 60 В. В этом случае требуется шунтирующий резистор, имеющий сопротивление около 400 Ом и мощность 10 Вт.

Проверка механической части реле заключается в проверке надежности болтовых и паяных соединений. Механическую регулировку выходного реле проверяют следующим образом: для обеспечения доступа к контактам выходного реле освобождают крепление печатной платы и отводят плату в сторону. Промежутки замыкающих контактов должны быть не менее 0,8 мм. Регулировку промежутков производят изменением изгиба упорных пластин.

Проверка и настройка электрических характеристик. При помощи перемычки *XB1* и переключателей *SB1–SB6* выбирают рабочую уставку.

Для выставления необходимой уставки по углу срабатывания один из переключателей, соответствующий требуемой уставке, устанавливается в выступающее положение, а остальные – в утопленное.

Проверка характеристик срабатывания выполняется аналогично РН-55 непосредственным способом. Одноименные фазы подаются на выводы 14 и 22. Напряжение на выводы 20–22 (узел питания) необходимо подать раньше, чем на выводы 14–16, так как к ним подключены цепи питания.

При необходимости проверяют напряжение срабатывания выходного реле. Для этого освобождают крепление печатной платы, отводят плату в сторону и подают напряжение непосредственно на обмотку выходного реле с отключенной полупроводниковой схемой, затем настраивают напряжение срабатывания выходного реле (нормальное значение – не более 28,8 В).

Проверка характеристик реле косвенным способом (см. рис. 26–29 или подача напряжения на одну обмотку) не выполняется, так как питание схемы выполнено от одной из обмоток.

Проверка полярности обмоток выполняется так же, как и для реле РН-55. Однополярными выводами у реле являются 22 и 16, красными точками отмечены выводы 22 и 14, к которым подключаются одноименные фазы.

Реле контроля напряжения на линии. Проверка реле РТ-40 или РСТ-13, а также аналогичных реле напряжения (если на линии установлен трансформатор напряжения) не представляет сложности и подробно описана в [8, 9].

Предварительная настройка и регулировка коэффициента возврата модифицированного реле РН-54/48 или РН-53/60 выполняется так

же, как и обычных электромагнитных реле [8]. Перед проверкой установки реле нужно подобрать соответствующий шунтирующий резистор ($R_{ш1}$ на рис. 8) в соответствии с табл. 14. Проверка тока срабатывания и тока возврата выполняется с подключенным шунтирующим резистором, которым производится регулировка рабочей уставки. Рабочая уставка на реле устанавливается в середине или конце шкалы, заводская градуировка шкалы во внимание не принимается.

Проверка отбора напряжения от постороннего источника в полной схеме. Шкаф отбора установлен на постоянное место, ошиновка подключена к фильтру присоединения и не подключена к конденсатору связи. Высокочастотную аппаратуру, подключенную к фильтру присоединения, на время проверки от постороннего источника нужно отключить. В соответствии с выполненными расчетами (напряжение линии, емкость конденсатора связи, тип ШОН) собирают схему подключения обмоток ТОН. Собирают и проверяют схему вторичных цепей ТОН.

Проверяют и испытывают изоляцию вторичной цепи в сборе, заземляют цепь на ближайшей к шкафу отбора сборке зажимов. При использовании в качестве нагрузки ШОН статических реле напряжения или реле контроля синхронизма проверку сопротивления изоляции этих реле производят мегомметром 500 В после предварительной проверки отсутствия замыкания на землю в цепях реле омметром на напряжение до 15 В.

В рассечку вторичной цепи подключают миллиамперметр. Устанавливают предел измерения, соответствующий ожидаемому вторичному току (100–200 мА).

В первичную обмотку подают напряжение от постороннего источника до получения тока, соответствующего расчетному, и проверяют вторичный ток.

Подбором отводов вторичной обмотки трансформатора ТОН устанавливают ток, при котором напряжение на обмотке реле контроля синхронизма РКС наиболее близко к номинальному.

Через фазорегулятор на обмотку реле контроля синхронизма, подключенную к трансформатору напряжения, подают соответствующее напряжение (100 или 60 В). Проверяют углы срабатывания реле контроля синхронизма в полной схеме.

Если к шкафу отбора подключена схема ручного контроля синхронизма (колонка синхронизации), то проверяют работу измерительных приборов при подключенной колонке синхронизации и наличие вторичного тока отбора при отключенном ПСХ (см. рис. 9).

Отключают миллиамперметр от вторичной цепи, восстанавливают цепь и повторно проверяют протекание тока без разрыва цепи

от постороннего источника. Проверяют падение напряжения на реле контроля синхронизма.

Проверяют нормальную работу ВЧ аппаратуры, подключенной к фильтру присоединения, на эквивалент линии в нормальном режиме и при включении заземляющего рубильника (ЗР) ШОН. Проверяют исчезновение тока во вторичной цепи отбора при включении ЗР. При включенном заземляющем ноже (ЗН) подключают ошиновку от конденсатора связи.

Проверка схемы рабочим напряжением. Проверка выполняется при включенном выключателе линии. Все работы, связанные с разрывом вторичной цепи ТОН, выполняются при включенном ЗН или ЗР.

Отключают заземляющий нож. Проверяют появление тока во вторичной цепи без ее разрыва. Проверяют значения тока и напряжения на обмотках реле контроля синхронизма. Сравнивают полученные значения с напряжением вторичных цепей ТН шин.

Поскольку конденсаторы связи имеют значительные заводские допуски по емкости, измеренный первичный ток может отличаться от расчетного. При необходимости производят регулировку вторичного тока подбором отпаяк ТОН.

В [10, 11] рекомендуется выравнивать токи в обмотках, приведенные к одному номинальному напряжению при помощи дополнительного резистора R_d , устанавливаемого последовательно с обмоткой, подключаемой к вторичным цепям ТН (см. рис. 8). Авторы не считают это необходимым, последними проектными решениями установка этого резистора не предусматривается. Кроме того, при отключении линии напряжения на линии и шинах могут заметно различаться.

Изменяя с помощью фазорегулятора углы подводимого напряжения, производят окончательную настройку реле РКС на заданную уставку. Измеряют угол между этим напряжением и током в обмотке реле, подключенной к цепям ШОН. Контроль угла срабатывания можно производить с помощью вольтамперфазоизмерителя типа ВАФ-85 или его аналогов (ВАФ-85М, ВАФ-М1 «Белэлектромонтажналадка», ВАФ-А «Ленэнерго» и др.). Уставку можно изменить перемещением поводка реле. Установка РЕЛЕ-ТОМОГРАФ-41М без дополнительного устройства синхронизации для этой проверки не пригодна (устройство синхронизации может быть поставлено совместно с установкой).

После окончательного выставления уставок повторно проверяют срабатывание реле по одной из обмоток. При выполнении повторных проверок по этому напряжению можно будет судить о неизменности уставки.

Затем восстанавливают нормальную схему включения реле и проверяют правильность подвода цепей по фазам и полярности. Угол между подведенными на реле напряжениями должен быть равен нулю. При необходимости регулировки этого угла допустимо применять конденсаторы емкостью 0,2–0,4 мкФ с рабочим напряжением 400 В (на рис. 8 – конденсатор С). В большинстве случаев без этого конденсатора можно обойтись. Далее будет сказано, как изменить угол между векторами напряжения одновременно с устранением вибрации реле. При правильном подводе цепей напряжения реле не должно срабатывать. При отключении одного из напряжений, изменении полярности подведенного напряжения или подаче напряжения других фаз реле должно сработать.

Проверяют работу измерительных приборов колонки синхронизации. Показания вольтметра должны соответствовать действительному значению напряжения на линии. При необходимости устанавливают показания прибора регулированием шунтирующего резистора.

Если позволяет режим сети, можно проверить работу схемы при отключенном выключателе линии. Если линия достаточно длинная и нагруженная, напряжение на ней может быть заметно ниже, чем на шинах. В этом случае нужно проверить погрешность реле контроля синхронизма. Если она выходит за пределы заводских допусков, по согласованию с организацией, задавшей уставки, изменяют регулировку РКС.

8. НЕТИПОВЫЕ РЕШЕНИЯ УСТРОЙСТВ КОНТРОЛЯ СИНХРОНИЗМА

Иногда приходится сталкиваться с более сложными вопросами, чем обычная настройка схемы. Далее приводятся пути решения некоторых из них.

Устранение вибрации реле и регулировка положения векторов напряжений. Во вторичном токе емкостных отборов часто бывает высокий уровень высших гармоник. Это связано с тем, что напряжение повышенной частоты, которое в большей или меньшей степени всегда есть в первичной цепи, легче проходит через конденсатор связи, и чем выше частота, тем больше ток при том же напряжении. В ряде случаев в первичном токе устройства отбора содержание высших гармоник настолько велико, что возникает недопустимая вибрация якостей реле РН-55 и РН-54, приводящая к нарушению замкнутого состояния контактов. В этом случае необходимо принять дополнительные меры к ее устранению. Для этого можно установить конденсатор параллельно обмоткам этих реле, через который будет шунтироваться ток высших гармоник. В этом случае ток в обмотках реле окажется сдвинутым по отношению к первичному току устройства отбора, что потребует включения второй обмотки реле РН-55 на другие фазы трансформатора напряжения, что позволяет регулировать взаимное положение векторов напряжений, приложенных к обмоткам.

Форма тока в обмотках реле определяется по осциллокопу, включаемому на добавочные резисторы внутри реле, угол измеряется прибором ВАФ-85. Емкость конденсатора подбирается опытным путем, например с помощью магазина емкостей с учетом двух условий: устранения вибраций якостей за счет улучшения формы кривой тока в обмотках реле и обеспечения сдвига тока в обмотках реле на угол 30° . Хороших результатов можно добиться, применив емкости 3–5 мкФ, при этом ток в обмотке 30 В реле сдвигается на угол около 30° . Поэтому вторую обмотку реле РН-55 вместо включения на напряжение U_{BC} следует включить на напряжение $U_{B0} = 60$ В, заменив реле РН-55/130 на реле РН-55/90.

В некоторых случаях уровень высших гармоник может оказаться настолько высоким, что они могут вызвать перегрузку трансформатора отбора напряжения и, как следствие, повреждение обмоток ТОН или разрядника. Для устранения этих явлений в [12] предлагается включать конденсатор параллельно первичной обмотке ТОН. Емкость конденсатора предварительно подсчитывается по формуле

$$C_{ш} = \frac{1}{314(X_{т1} + \frac{R_{т1}}{\operatorname{tg}\beta})}, \quad (34)$$

где $R_{т1}$, $X_{т1}$ – активная и индуктивная составляющая полного сопротивления, измеренного на основной частоте со стороны первичной обмотки ТОН при подключенной полной нагрузке вторичной обмотки; β – разность фаз напряжений в обмотках реле сравнения фаз.

При этом одновременно подавляются высшие гармоники напряжения сети и изменяется угол вектора напряжения вторичной обмотки ТОН.

Регулировка взаимного положения векторов напряжений, приложенных к обмоткам реле, может выполняться изменением емкости конденсатора ($\pm 20\%$) или сопротивлением резистора, подключенного параллельно обмотке РКС. Не исключено, что угол напряжения изменится существенно. В этом случае можно заменить реле РН-55/130 на реле РН-55/90 с изменением его схемы подключения, как указано выше.

Несоответствие конденсаторов связи трансформаторам шкафа отбора напряжения. Иногда приходится решать проблему взаимного несоответствия конденсаторов связи и трансформаторов отбора напряжения. Нередко на линиях 110, 220 кВ применяются конденсаторы типа СМР-55/√3-0,0044 (на линии 110 кВ – два элемента, 220 кВ – четыре). В этих случаях первичный ток отбора напряжения составляет 44 мА. Трансформаторы, входившие в комплект шкафов отбора ШОН-1, могли работать с этим током при соответствующем соединении обмоток (см. рис. 16 в), у трансформаторов ТОН-201 это штатный режим. Трансформаторы ТОН-301 и ТОН-302 для такого тока не приспособлены, но можно подобрать подходящее соотношение витков обмоток. Так, например, у трансформатора ТОН-301 первичный ток может быть подан на полную обмотку (1800 витков). Для получения вторичного тока, равного 150 мА, вторичная обмотка должна иметь

$$w_2 = \frac{I_1 w_1}{I_2} = \frac{0,0044 \cdot 1800}{0,15} = 528 \text{ вит.}$$

Достаточно близкое значение можно получить, используя регулировочные выводы вторичной обмотки ($2 \times 140 + 4 \times 70$). Недостатки этого способа – некоторая перегрузка трансформатора, приводящая к повышенной погрешности, и отсутствие возможности регулировки вторичного тока отпайками.

Если ток конденсатора связи превышает номинальный первичный ток ТОН (например, конденсатор СМР-166/ $\sqrt{3}$ -0,014 на линии 110 кВ со шкафом ШОН-301), может произойти перегрузка трансформатора первичным током. В этом случае нужно уменьшить количество витков первичной обмотки. В данном случае можно использовать часть обмотки – 520 витков. При первичном токе 0,28 А для получения вторичного тока 0,15 А на вторичной обмотке нужно иметь 967 витков. Достаточно близко к этому значению находится часть обмотки с 980 витками. Возможности регулирования вторичного тока при этом также ограничены.

В обоих случаях регулировку вторичного тока ТОН в сторону уменьшения можно выполнить с помощью шунтирования вторичной обмотки активным сопротивлением. Если же ток получается ниже номинального, можно выполнить выравнивание токов в обмотках и проверить уставку реле в полной схеме, как было описано выше. Эти решения можно применять только как временные до приобретения оборудования, соответствующего проекту.

Крайне нежелательно применять шунтирование первичной обмотки активным сопротивлением, так как обрыв резистора может привести к перегрузке и повреждению трансформатора.

Расширение угла блокировки реле РН-55. В соответствии с техническими данными максимальная уставка по углу срабатывания реле контроля синхронизма типа реле РН-55 – 40° . Если необходимо выполнить на реле уставку более 40° , то следует либо применить реле РСФ-11, РСНФ-12, либо использовать одну из приведенных ниже методик расширения угла блокировки.

Из выражений (24) и (25) следует, что угол срабатывания реле РН-55 зависит от действительного значения напряжений, приложенных к обмоткам. На этом основан метод расширения диапазонов срабатывания реле. На рис. 31 показано изменение угла срабатывания при пропорциональном снижении напряжения на двух обмотках.

Если к каждой обмотке реле подвести напряжения в равной степени

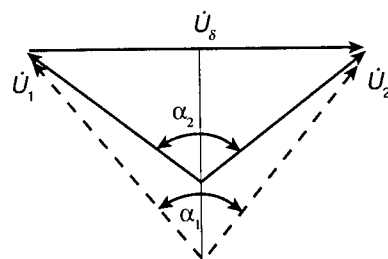


Рис. 31. Векторная диаграмма реле РН-55 при изменении напряжений

меньше номинального, то для сохранения $U_{ср}$ угол α должен соответственно увеличиться, т. е. формула (23) примет вид

$$U_{ср} = \text{const} = \eta 2U_{ном} \sin \frac{k\alpha}{2}, \quad (35)$$

где k – коэффициент относительного изменения угла срабатывания; η – коэффициент относительного изменения напряжения срабатывания.

Для получения угла срабатывания 80° на уставке 40° ($k = 2$) η должен быть равен 0,53, следовательно, для получения на реле диапазона уставок, в 2 раза превышающего заводской, к каждой обмотке реле контроля синхронизма должно быть приложено напряжение примерно в 2 раза меньшее, чем соответствующее уставке по заводской шкале.

Для уменьшения тока в обмотке реле, подключенной к ТОН, выбирают соответствующие отпайки ТОН. У трансформаторов ТОН-301, ТОН-302 для этого предназначены выводы стороны 0,075 А, вторичные обмотки ТОН-201 соединяются последовательно. Выход ТОН-101 должен быть зашунтирован резистором. Для уменьшения тока в обмотке реле, подключенной к цепям трансформатора напряжения с номинальным напряжением 100 В применяют резистор ПЭВР-50 сопротивлением 2000 Ом, включаемый последовательно с обмоткой реле, а при $U_{ном} = 60$ В – резистор ПЭВР-50 сопротивлением 750 Ом. Заданная уставка по углу срабатывания выставляется обычным путем, причем она может не совпадать со шкалой реле.

Для модернизированного таким образом реле напряжение срабатывания при питании одной обмотки может быть больше подведенного номинального напряжения и, следовательно, такое реле не может быть использовано для контроля напряжения. Если в других случаях без контакта реле контроля напряжения на шинах РНШ (см. рис. 5) можно обойтись, здесь он обязателен. Данные, приведенные в табл. 15, для этих реле неприемлемы, и реле не могут быть настроены или проверены подачей напряжения в одну обмотку. Для проверки правильности подключения реле в схему недостаточно исключения одного из напряжений, для срабатывания реле необходима подача напряжения в одну из обмоток с обратной полярностью.

Возможно расширение диапазона уставок с помощью дополнительного реле контроля синхронизма. На рис. 32 приведена схема подключения реле к емкостному отбору напряжения.

Если обмотки реле РК1, РК2 напряжением 30 В подключены к фазе А, вторая обмотка одного из реле должна быть подключена к напряжению U_{B0} , а вторая – U_{C0} , но с обратной полярностью. Размыкающие контакты РКС соединяются параллельно.

Уставка, которую необходимо выставить на каждом из реле РКС, рассчитывается по формуле

$$\alpha_{\text{ср}} = \alpha_{\text{уст}} - 30^\circ, \quad (36)$$

где $\alpha_{\text{ср}}$ – уставка по углу срабатывания, выставляемая на реле; $\alpha_{\text{уст}}$ – заданная уставка.

Векторная диаграмма при этом имеет вид, приведенный на рис. 33.

Зоны работы реле контроля синхронизма взаимно перекрываются. Векторами 1–3 ограничена зона работы одного реле, 2–4 – второго. Векторы 1–4 ограничивают зону работы, охватываемую двумя реле. Так как векторы напряжения $-\dot{U}_A$ и \dot{U}_B развернуты на 30° относительно вектора $-\dot{I}_1$, противоположного вектору тока емкостного отбора, при уставке 40° на каждом реле суммарный угол схемы будет составлять 70° .

В данном случае приведена схема для подключения отбора напряжения к фазе А линии. Если же он будет подключен к другой фазе, необходимо на обмотки 2–4 реле РКС1 и РКС2 подать напряжения других фаз.

Наладка и проверка рабочим напряжением схемы с двумя реле принципиально не отличается от схемы с одним реле.

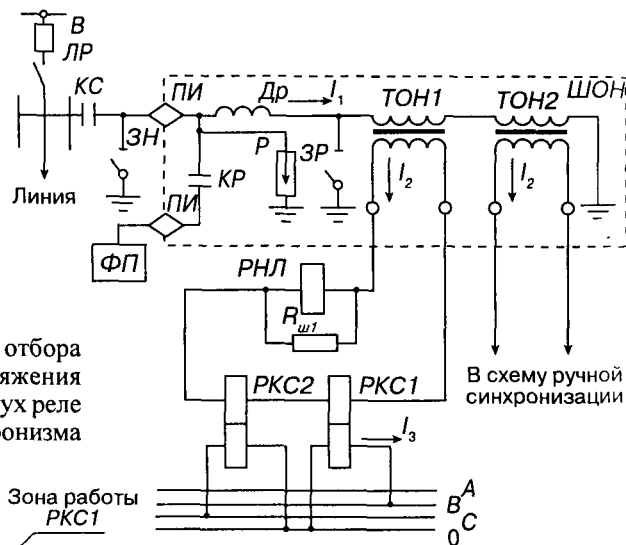


Рис. 32. Схема цепей отбора напряжения с использованием двух реле контроля синхронизма

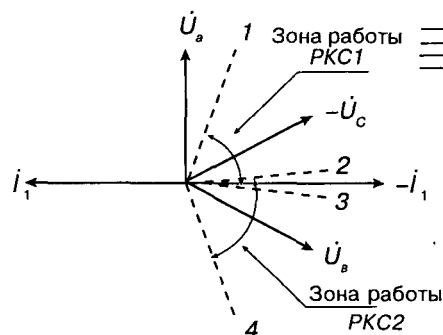


Рис. 33. Векторная диаграмма распределения напряжений в схеме, приведенной на рис. 32

ПРИЛОЖЕНИЕ

Форма протокола наладки емкостного отбора напряжения

Минтопэнерго России
РАО «ЕЭС России»

(предприятие, объект)

(организация, выполнявшая
проверку)

(присоединение)
«___» _____ 200_ г.

ПРОТОКОЛ

проверки при новом включении схемы отбора напряжения

1. Основные технические данные

1.1. Линии

| Номинальное переменное напряжение, В | Тип конденсатора связи | Место установки конденсатора связи |
|--------------------------------------|------------------------|------------------------------------|
| | | |

1.2. Шкафа отбора напряжения

| Назначение | Обозначение по схеме | Тип | Количество используемых ТОН | Подключен совместно с _____ |
|------------|----------------------|-----|-----------------------------|-----------------------------|
| | | | | |

1.3. Реле

| Реле | Тип реле | Тип и номинал шунтирующих резисторов | Обозначение по схеме | Место установки |
|-----------------------------------|----------|--------------------------------------|----------------------|-----------------|
| Реле контроля напряжения на линии | | | | |
| Реле контроля синхронизма | | | | |

2. В схеме выполнены изменения, установлены дополнительные резисторы и конденсаторы _____

3. Состояние аппаратуры и контактных поверхностей реле по результатам осмотра и механической регулировки _____

4. Измерение и испытание изоляции

4.1. Сопротивление изоляции всех цепей отбора напряжения относительно корпуса и между собой измерено мегомметром _____ В и составляет:

| Элемент схемы | Сопротивление изоляции относительно корпуса | Сопротивление изоляции относительно электрически не связанных цепей |
|--------------------------|---|---|
| Дроссель | | |
| ТОН 1, первичная обмотка | | |
| ТОН 2, первичная обмотка | | |
| ТОН 1, вторичная обмотка | | |
| ТОН 2, вторичная обмотка | | |
| Релейная аппаратура | | |

Примечание. Проверка изоляции выполняется мегомметром 500 В после проверки отсутствия замыканий на землю омметром.

4.2. Измерено сопротивление изоляции первичной и вторичной цепи в сборе относительно корпуса и электрически несвязанных цепей.

| Цепь | Изоляция не менее, МОм |
|-----------|------------------------|
| Первичная | |
| Вторичная | |

4.3. Проверена электрическая прочность изоляции относительно корпуса напряжением 1000 В, 50 Гц в течение 1 мин. При этих испытаниях статические реле отключены.

4.4. Повторно произведено измерение сопротивления изоляции цепей. Значения сопротивлений остались без изменений.

5. Проверка характеристик ШОН

5.1. Проверка дросселя

| I, А | U, В | Z, Ом | R, Ом | X, Ом | L, Гн |
|------|------|-------|-------|-------|-------|
| | | | | | |

Расчетные формулы

$$Z = \frac{U}{I}, \text{ Ом}; X = \sqrt{Z^2 - R^2}, \text{ Ом}; L = \frac{X}{\omega}, \text{ Гн}; \omega = 2\pi f = 314.$$

Норма L – 100 мГн.

5.2. Проверка конденсаторов

| U, В | I, мА | X _c , кОм | C, пФ |
|------|-------|----------------------|-------|
| | | | |

Расчетные формулы

$$X_c = \frac{U}{I}, \text{ Ом}; C = \frac{1}{\omega X_c}, \text{ Ф}.$$

Норма C = 30000 пФ.

5.3. Проверка разрядника

Пробивное напряжение разрядника U_{проб} = _____ кВ.

5.4. Сопротивление резистора R измерено мостом постоянного тока (ШОН-1, ШОН-2).

R = _____

5.5. Проверка трансформаторов отбора напряжения (ТОН)

5.5.1. Проверка вольт-амперных характеристик ТОН.

Напряжение подано на первичную обмотку, вторичная обмотка разомкнута.

| Ток, мА | Напряжение, В | | | | | | Примечание |
|---------|---------------|----|-----|-----|-----|-----|------------|
| | 50 | 75 | 100 | 150 | 200 | 250 | |
| ТОН 1 | | | | | | | |
| ТОН 2 | | | | | | | |

5.5.2. Проверка идентичности первичных обмоток (ШОН-1, ШОН-2, ШОН-201).

Первичные обмотки включены параллельно, условия проверки те же.

| Ток, мА | Напряжение, В | | | | | | Примечание |
|---------|---------------|----|-----|-----|-----|-----|------------|
| | 50 | 75 | 100 | 150 | 200 | 250 | |
| ТОН 1 | | | | | | | |
| ТОН 2 | | | | | | | |

5.5.3. Проверка идентичности вторичных обмоток (ШОН-201).

Вторичные обмотки включены параллельно, напряжение подано на первичную обмотку.

| Ток, мА | | Напряжение, В | | | | | | Примечание |
|---------|-------|---------------|----|-----|-----|-----|-----|------------|
| | | 50 | 75 | 100 | 150 | 200 | 250 | |
| | ТОН 1 | | | | | | | |
| | ТОН 2 | | | | | | | |

5.5.4. Проверка коэффициента трансформации ТОН 1

| Первичная обмотка | | Вторичная обмотка | | Коэффициент трансформации |
|-------------------|--------|-------------------|--------|---------------------------|
| Ток, А | Клеммы | Ток, А | Клеммы | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

5.5.4. Проверка коэффициента трансформации ТОН 2

| Первичная обмотка | | Вторичная обмотка | | Коэффициент трансформации |
|-------------------|--------|-------------------|--------|---------------------------|
| Ток, А | Клеммы | Ток, А | Клеммы | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

5.5.5. Проверка правильности выполнения отпаяк вторичной обмотки ТОН.

На первичную обмотку ТОН подано напряжение $U = 100$ В.
Напряжение на вторичной обмотке:

| Выводы обмотки | | | | | | | | |
|----------------|-------|--|--|--|--|--|--|--|
| Напряжение, В | ТОН 1 | | | | | | | |
| | ТОН 2 | | | | | | | |

6. Проверка реле контроля синхронизма

6.1. Проверка реле по шкале и на рабочей уставке

| Уставка, град. | Зажимы обмоток | Напряжение, В | | Угол, град. | | Коэффициент возврата |
|----------------|----------------|---------------|------------|---------------|-----------------|----------------------|
| | | $U_{ср}$ | $U_{возв}$ | $\delta_{ср}$ | $\delta_{возв}$ | |
| | 2-4 | | | | | |
| | 6-8 | | | | | |
| | 2-4 | | | | | |
| | 6-8 | | | | | |
| Рабочая | 2-4 | | | | | |
| | 6-8 | | | | | |

6.2. Проверка полярности обмоток реле

Однополярными зажимами являются _____.

6.3. Проверена работа контактов на отсутствие вибрации. Вибрации не наблюдалось.

7. Проверка реле контроля напряжения на линии

7.1. Проверка диапазона шкалы реле и настройка на заданную уставку

| Тип реле | Уставка по шкале В, А | Расчетная уставка, мА | Ток, мА | | Коэффициент возврата |
|----------|-----------------------|-----------------------|----------|------------|----------------------|
| | | | $I_{ср}$ | $I_{возв}$ | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

7.2. Произведена проверка реле на отсутствие вибрации контактов на рабочей уставке.

Вибрация отсутствует, цепь контактов не размыкается и параметры реле не изменились.

8. Проверка ШОН от постороннего источника в полной схеме.

При подаче расчетного первичного тока от постороннего источника в первичную обмотку $I_{перв} = \underline{\hspace{2cm}}$ А.

Измерен ток во вторичной обмотке $I_{втор} = \underline{\hspace{2cm}}$.

Напряжение на обмотке реле контроля синхронизма $U_{РКС} = \underline{\hspace{2cm}}$.

8.1. Настройка уставки реле контроля напряжения.

Ток через конденсатор связи, соответствующий срабатыванию реле, определяется по формуле

$$I_{KC} = \frac{U_a \omega C_{KC}}{\sqrt{3}},$$

где U_a – заданное первичное напряжение срабатывания.

При подаче расчетного тока в первичную обмотку напряжение реле контроля напряжения, соответствующее его срабатыванию $U_{РНЛ} = \dots$.

9. Проверка ШОН в полной схеме рабочим током

9.1. Ток во вторичной обмотке ТОН $I_{втор} = \dots$.

Напряжение на обмотке реле контроля синхронизма $U_{РКС} = \dots$.

9.2. Измерен и выставлен ток в обмотке реле контроля синхронизма, подключенной к обмотке ТН на шинах, $I = \dots$.

9.3. Угол между напряжениями на обмотках реле контроля синхронизма выставлен \dots .

После регулировки повторно проверены падения напряжений на реле контроля напряжения и реле контроля синхронизма.

9.4. При подключении одной обмотки реле контроля синхронизма к включенному по нормальной схеме ШОН и подаче во вторую обмотку, отсоединенную от схемы, через фазорегулятор напряжения от постороннего источника (значения напряжения должны соответствовать протеканию по обмотке тока, равного измеренному в п. 7.2) выставлена заданная уставка по углу срабатывания \dots .

10. Восстановлена нормальная схема включения реле контроля синхронизма. Реле контроля синхронизма находится в несработавшем состоянии. Реле контроля наличия напряжения находится в сработавшем состоянии и недопустимой вибрации контактов не наблюдается.

11. Проверена работа колонки синхронизации. Показания вольтметра контроля напряжения на линии выставлены равными показаниям вольтметра контроля напряжения на шинах.

12. Проверена работа высокочастотного канала и исчезновение тока во вторичных цепях отбора при замыкании рубильника в шкафу ШОН.

Заключение

Проверку производили
Руководитель работ

« \dots » 200 \dots г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Правила устройства электроустановок (ПУЭ).** – 6-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
2. **Методические указания по техническому обслуживанию реле контроля синхронизма РН-55.** МУ 34-70-062-84. – М.: СПО Союзтехэнерго, 1984.
3. **Правила технического обслуживания устройств релейной защиты, электроавтоматики, дистанционного управления и сигнализации электростанций и подстанций 110–750 кВ.** – М.: СПО Союзтехэнерго, 1989.
4. **Типовая инструкция по организации и производству работ в устройствах релейной защиты и электроавтоматики электростанций и подстанций.** РД 34.35.302-90. – М.: СПО ОРГРЭС, 1991.
5. **Веников В.А.** Переходные электромеханические процессы в электрических системах. – М.: Высш. шк., 1970.
6. **Беркович М.А., Гладышев В.А., Семенов В.А.** Автоматика энергосистем. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
7. **Богорад А.М., Назаров Ю.Г.** Автоматическое повторное включение в энергосистемах. – М.: Энергия, 1969.
8. **Техническое обслуживание релейной защиты и автоматики электростанций и электрических сетей.** – Ч. 1: Электромеханические реле. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2000.
9. **Техническое обслуживание релейной защиты и автоматики электростанций и электрических сетей.** – Ч. 3: Статические реле. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2000.
10. **Техническое обслуживание релейной защиты и автоматики электростанций и электрических сетей.** – Ч. 4: Электроавтоматика. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2000.
11. **Овчинников В.В.** Автоматическое повторное включение. – М.: НТФ Энергопрогресс, 2001.

12. **Шийко С.А.** Обеспечение работоспособности устройств синхронизации, подключенных через конденсаторы высокочастотной связи // Электрические станции. – 1978. – № 1.

13. **Малый А.С.** Емкостные отборы напряжения // Электрические станции. – 1978. – № 6.

14. **Чернова Ю.Р.** Расчет устройств отбора напряжения для целей АПВ и синхронизации // Электрические станции. – 1973. – № 1.

15. **Типовое проектное решение 407-0-164** Северо-Западного отделения Энергосетьпроект с изменениями от 27.12.2000.

ISBN 5-93196-164-X



Производственно-практическое издание

Составители

Дорохин Евгений Георгиевич,

Дорохина Татьяна Николаевна

**СХЕМЫ АПВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ:
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЕМКОСТНОГО
ОТБОРА НАПРЯЖЕНИЯ**

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Редактор *Л.Л. Жданова*

Художественный редактор *В.Е. Горин*

Технический редактор *Ж.М. Голубева*

Компьютерная верстка и графика *М.А. Толокновой*

Корректор *И.Н. Баханова*

Лицензия № 071727 от 01.09.98.

Санитарно-эпидемиологическое заключение

№ 77.99.02.953.Д.000626.02.02 от 04.02.2002 г.

Подписано в печать 03.07.2002. Формат 60×90^{1/16}.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 5,0. Уч.-изд. л. 5,1.
Тираж 10 000 экз. (1-й завод 1–3 000 экз.). Заказ № 231.

ЗАО «Издательство НЦ ЭНАС».
115201, г. Москва, Каширское ш., д. 22, корп. 3.

Тел./факс: (095) 113-53-90, 234-71-82.

E-mail: pr@enas.ru

www.enas.ru

Отпечатано с готовых диапозитивов в ФГУП
Московской типографии №6
Министерства РФ по делам печати, телерадиовещания
и средств массовых телекоммуникаций.
115088, г. Москва, ул. Южнопортовая, 24.

НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ

- **ПРАВИЛА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И СЕТЕЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ.** РД 34.20-501-95. – 15-е изд. с изм. и доп. – М., 2002.
- **ПОСОБИЕ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРАВИЛ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И СЕТЕЙ (ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ).** – М., 2002.
- **ПОСОБИЕ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРАВИЛ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И СЕТЕЙ (ТЕПЛОМЕХАНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ).** – М., 2001.
- **ПОСОБИЕ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРАВИЛ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И СЕТЕЙ (ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ).** – М., 2001.
- **ПРАВИЛА УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК (ПУЭ).** – 7-е изд. Разд. 6. Электрическое освещение
Разд. 7. Электрооборудование специальных установок (Гл. 7.1 и 7.2). – М., 2002.
- **ПРАВИЛА УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК (ПУЭ).** – 7-е изд. Разд. 1. Общие правила (гл. 1.1, 1.2, 1.7, 1.9)
Разд. 7. Электрооборудование специальных установок (гл. 7.5, 7.6, 7.10). – М., 2002.
- **ОБЪЕМ И НОРМЫ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ.** РД 34.45-51.300-97. – 6-е изд. с изм. (по сост. на 01.03.2001). – М., 2001.
- **ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ:**
В 4 частях:
Ч.1: Электромеханическое реле. – М., 2001.
Ч.2: Реле дифференциальных, направленных и фильтровых защит. – М., 2001.
Ч.3: Статическое реле. – М., 2001.
Ч.4: Электроавтоматика. – М., 2001.

И МЕТОДИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА

- **ПРИМЕНЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ И В ЭЛЕКТРОСЕТЯХ.**
В 4 частях:
Ч.1: Фиксирующие индикаторы для определения мест повреждений на воздушных линиях электропередачи. – М., 2001.
Ч.2: Устройства релейной защиты и автоматики распределительных электрических сетей. – М., 2001.
Ч.3: Испытательные установки для проверки устройств релейной защиты и автоматики (серии «УРАН», «НЕПТУН», «САТУРН»). – М., 2002.
Ч.4: Испытательные установки для проверки устройств релейной защиты и автоматики (серия «РЕТОМ»). – М., 2002.
- **СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ СЧЕТЧИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ: Практик. пособие.** – М., 2002.
- **ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ.** – М., 2002.
- **СБОРНИК НОРМАТИВНЫХ И МЕТОДИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ, КОММЕРЧЕСКОМУ И ТЕХНИЧЕСКОМУ УЧЕТУ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И МОЩНОСТИ.** – 2-е изд. перераб. и доп. – М., 2002.
- **СБОРНИК НОРМАТИВНЫХ, ПРАВОВЫХ АКТОВ И ВЕДОМСТВЕННЫХ ДОКУМЕНТОВ ПО РЕГУЛИРОВАНИЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В АВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И РАБОТЕ С ПОТРЕБИТЕЛЯМИ -НЕПЛАТЕЛЬЩИКАМИ.** – М., 2001.

**ПРИБРЕСТИ КНИГИ МОЖНО
В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ:**

115201, г. Москва, Каширское шоссе, д. 22, корп. 3.
Тел: (095)234-71-82. Факс: (095)113-53-90
e-mail: pr@enas.ru Internet: www.enas.ru



«ИЗДАТЕЛЬСТВО НЦ ЭНАС»

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Кочкин В. И., Нечаев О. П. ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ КОМПЕНСАТОРОВ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ЭНЕРГОСИСТЕМ И ПРЕДПРИЯТИЙ. – М., 2001.
- Овчаренко Н. И. АВТОМАТИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ / Под ред. А. Ф. Дьякова. – М., 2001.
- Рабинович М. А. ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ЗАДАЧ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ. – М., 2001.
- Алексеев Б. А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТОЯНИЯ (ДИАГНОСТИКА) КРУПНЫХ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ. – 2-е изд. перераб. и доп. – М., 2001.
- Алексеев Б. А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТОЯНИЯ (ДИАГНОСТИКА) КРУПНЫХ ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ. – 2-е изд. стер. – М., 2002.
- Алексеев Б. А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТОЯНИЯ (ДИАГНОСТИКА) КРУПНЫХ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ. – М., 2002.
- Серебряников Н. И. и др. ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩИЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ. СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗАГОРСКОЙ ГАЗС. – М., 2000.

СПРАВОЧНИКИ И СЛОВАРИ

- СПРАВОЧНИК РУКОВОДИТЕЛЯ, РЕФЕРЕНТА, СЕКРЕТАРЯ: ПОДГОТОВКА И ОФОРМЛЕНИЕ ДОКУМЕНТОВ ДЛЯ ОРГАНОВ ВЛАСТИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ. – М., 2000.
- АНГЛО-РУССКИЙ СЛОВАРЬ КОММЕРЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ (для электроэнергетики) / Сост. В. А. Семенов. – М., 2001.
- АНГЛО-РУССКО-НЕМЕЦКО-ФРАНЦУЗСКИЙ СЛОВАРЬ ПО ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ / Сост. В. А. Семенов, Н. И. Маркин. – М., 2001.

ПРИБРЕСТИ КНИГИ МОЖНО

В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ:

115201, г. Москва, Каширское шоссе, д. 22, корп. 3.

Тел: (095) 234-71-82. Факс: (095) 113-53-90

e-mail: pr@enas.ru Internet: www.enas.ru