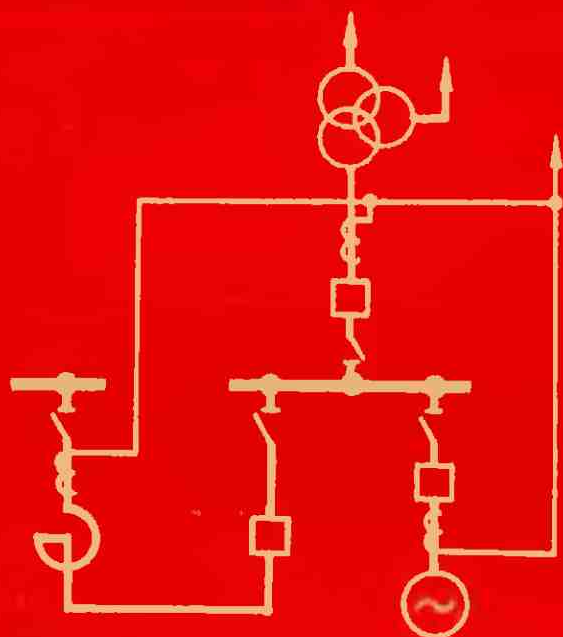




БИБЛИОТЕКА  
ЭЛЕКТРОМОНТЕРА



И. И. БАЙТЕР  
Н. А. БОГДАНОВА

## ЗАЩИТА ШИН 6-10 кВ



# ЗАЩИТА ШИН 6—10 кВ

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие . . . . .	3
1. Схемы электрических соединений сборных шин 6—10 кВ тепловых электростанций . . . . .	4
2. Принципы выполнения защиты шин 6—10 кВ . . . . .	12
3. Схемы защиты шин 6—10 кВ . . . . .	24
4. Защита на шинносоединительном выключателе 6—10 кВ . . . . .	68
5. Защита на секционном реакторе 6—10 кВ . . . . .	70
6. Расчет и выбор уставок защиты шин и шинных аппа- ратов 6—10 кВ . . . . .	73
Список литературы . . . . .	3-я стр. обл.



ББК 31.27

Б 18

УДК 621.316.35 : 621.316.925

Редакционная коллегия:

В. Н. Андриевский, С. А. Бажанов, Ю. В. Зайцев, Д. Т. Комаров, В. П. Ларионов, Э. С. Масаэлян, С. П. Розанов, В. А. Семенов, А. Д. Смирнов, А. Н. Трифоиев, П. И. Устинов, А. А. Филатов

Рецензент В. Н. Вавин

**Байтер И. И., Богданова Н. А.**

Б 18 Защита шин 6—10 кВ. — М.: Энергоатомиздат, 1984.—88 с., ил.—(Б-ка электромонтера; Вып. 563).

25 к. 25 000 экз.

Рассмотрены требования к релейной защите сборных шин 6—10 кВ тепловых электростанций. Изложены принципы действия и особенности выполнения защит шин. Рассмотрены современные схемы защиты шин 6—10 кВ. Даны методика и примеры расчета токов короткого замыкания и выбора уставок защиты шин.

Для электромонтеров.

Б 2302040000—257 129-84  
051(01)-84

ББК 31.27  
6П2.11

*ИСААК ИОНОВИЧ БАЙТЕР  
НИНА АЛЕКСАНДРОВНА БОГДАНОВА*

**Защита шин 6—10 кВ**

Редактор *Е. С. Майкова*

Редактор издательства *Н. В. Ольшанская*

Художественный редактор *Б. Н. Тумин*

Технический редактор *Н. Н. Хотулева*

Корректор *Л. С. Тимохова*

ИБ № 3216

Сдано в набор 10.11.83. Подписано в печать 01.02.84. Т-06221. Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 4,62. Усл. кр.-отт. 4,88. Уч.-изд. л. 5,14. Тираж 25 000 экз. Заказ № 637. Цена 25 к.

Энергоатомиздат, 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Владимирская типография Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли 600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7

© Энергоатомиздат, 1984

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Сборные шины 6—10 кВ тепловых электростанций (ТЭС) должны обладать высокой надежностью. Поэтому к релейной защите шин 6—10 кВ предъявляются повышенные требования.

В связи с тем, что в настоящее время на ТЭС единичные мощности генераторов достигают 63—100 МВт, усложнилась релейная защита сборных шин 6—10 кВ, что не нашло достаточного отражения в технической литературе. Настоящая книга написана на основе разработок схем защиты шин 6—10 кВ тепловых электростанций, выполненных в институте «Атомтеплоэлектропроект».

В предлагаемой книге изложены основные требования к релейной защите шин 6—10 кВ, приведены описания схем и методика расчета уставок защит. Особое внимание уделено схемам защиты шин 6—10 кВ крупных ТЭС. Авторы надеются, что предлагаемая книга поможет техникам, мастерам, электромонтерам электрических цехов электростанций в освоении и эксплуатации устройств релейной защиты шин 6—10 кВ ТЭС.

Авторы выражают благодарность В. Н. Вавину за тщательное рецензирование рукописи и ценные предложения по улучшению ее содержания.

Замечания и отзывы читателей просим направлять по адресу: 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

*Авторы*

## 1. СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ СБОРНЫХ ШИН 6—10 кВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Сборные шины 6—10 кВ являются главным элементом распределительного устройства генераторного напряжения, сооружаемого, как правило, на теплоэлектростанциях (ТЭЦ). Они предназначены для приема электроэнергии, поступающей от генераторов, трансформаторов связи, и ее распределения между отходящими от этих шин кабельными или воздушными потребительскими линиями. Надежность и бесперебойность электроснабжения потребителей в значительной мере зависят от надежности сборных шин.

На генераторном напряжении ТЭЦ 6—10 кВ применяются обычно следующие схемы первичных электрических соединений:

- 1) одиночная секционированная система сборных шин;
- 2) двойная секционированная система шин с одним выключателем на цепь (при этом секционируется только рабочая система шин).

Обе эти схемы могут выполняться в двух модификациях:

а) прямолинейная схема при количестве секций от двух до трех;

б) схема «кольца» при количестве секций больше трех.

По условиям электродинамической стойкости электрооборудования в настоящее время предусматривается подключение к каждой секции шин генератора мощностью не более 63 МВт при генераторном напряжении 6 кВ, а при напряжении 10 кВ — не более одного генератора мощностью 100 МВт или двух генераторов мощностью по 63 МВт. Этим ограничивается уровень токов короткого замыкания (КЗ) на сборных шинах 6—10 кВ. Кроме того, для дополнительного ограничения уровня токов КЗ при повреждениях на сборных шинах, в цепи генераторов и в сети на шинах устанавливают секционные реакторы. Связь с энергосистемой обычно осуществляется с помощью двухобмоточных или трехобмоточных трансформаторов связи,

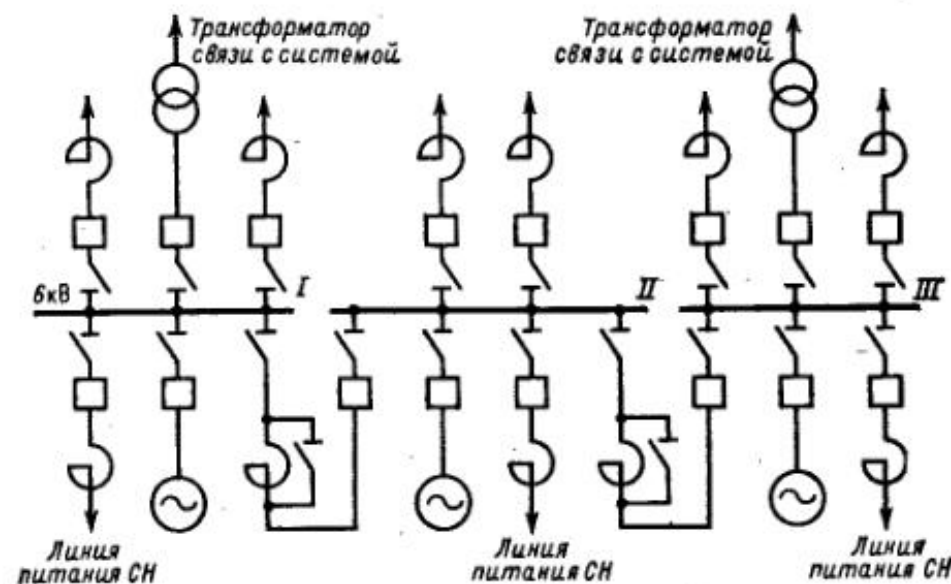


Рис. 1. Схема электрических соединений одиночной системы шин 6 кВ

обмотки высокого напряжения которых присоединяются к сборным шинам напряжения 35 кВ и выше.

**Одиночная секционированная система сборных шин.** На рис. 1 приведена схема первичных соединений электростанций с одной системой сборных шин 6 кВ, состоящей из трех секций, соединенных с помощью последовательно включенных выключателей и секционных реакторов.

Подключение каждого присоединения (генератора, трансформатора, линии) к сборным шинам производится через выключатели и шинные разъединители. Разъединители предназначены для создания видимого разрыва цепи при ремонтных работах и не являются оперативными элементами. Операции с разъединителями допускаются только при отключенном выключателе присоединения, для чего предусматриваются специальные схемы блокировки.

Секционирование сборных шин с помощью секционных выключателей (СВ) выполняется таким образом, чтобы каждая секция имела источники питания (генераторы, трансформаторы) и соответствующую нагрузку. Присоединения должны быть распределены между секциями так, чтобы при выходе из строя одной из секций сборных шин ответственные потребители продолжали получать питание от секции, оставшейся в работе. В связи с тем что на электростанциях генераторы работают параллельно, секционные выключатели при нормальной работе включены.

При КЗ на секции сборных шин поврежденная секция обесточивается путем отключения питающих элементов и секционных выключателей после срабатывания соответствующей релейной защиты, а неповрежденные секции остаются в работе.

На рис. 1 показана схема сборных шин с тремя секциями и двумя секционными реакторами. Нагрузку между секциями сборных шин обычно распределяют равномерно, поэтому в нормальном режиме через секционный реактор проходит незначительный ток, потери мощности и энергии в нем малы, а напряжения на секциях примерно одинаковы. Для выравнивания напряжения на секциях сборных шин и улучшения условий питания нагрузки при отключении питающих элементов на одной из секций в схеме предусмотрены разъединители, шунтирующие секционные реакторы. Шунтирование секционных реакторов допускается в тех случаях, когда после этого расчетный уровень токов КЗ не превосходит допустимого для электрооборудования.

Линейные реакторы применяются для ограничения тока КЗ при повреждениях на отходящих кабельных линиях. Кроме того, они способствуют поддержанию остаточного напряжения на сборных шинах электростанции, что повышает устойчивость параллельной работы генераторов и надежность питания потребителей электроэнергией. При необходимости значительного ограничения тока КЗ в сети устанавливают реакторы в каждой кабельной линии. Однако допускается подключение к одному реактору двух и более кабельных линий одного или различных потребителей. В последнем случае каждая кабельная линия должна присоединяться через отдельный разъединитель.

Если к шинам станции должно быть присоединено большое количество кабельных линий, как правило, применяется групповое реактирование. При этом удешевляется конструкция распределительного устройства (РУ), уменьшается число присоединений к сборным шинам, повышается надежность работы электроустановки в целом. Однако в схеме с групповыми реакторами КЗ на одной из линий приводит к снижению напряжения на всех линиях, присоединенных к той же кабельной сборке.

На рис. 1 показано РУ 6 кВ при следующей схеме включения элементов отходящих линий: шины — выключатель — реактор — линия. Такая схема применена на ряде электростанций с генераторами мощностью менее 63 МВт. При этом выключатель не рассчитан на отключение КЗ до реактора.

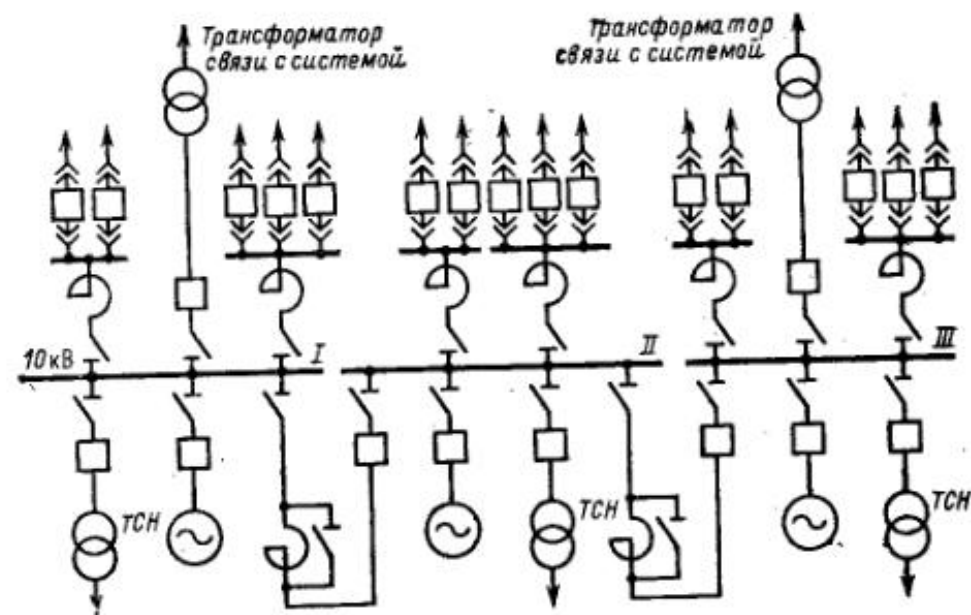


Рис. 2. Схема электрических соединений одиночной системы шин 10 кВ

Питание собственных нужд (СН) электростанции производится здесь от одинарных реактированных линий СН 6 кВ. Они подключаются к сборным шинам аналогично линиям потребителей.

На рис. 2 приведена схема первичных соединений электростанции с одиночной секционированной системой сборных шин 10 кВ. Она отличается отсутствием реактированных линий 6 кВ СН и наличием трансформатора СН (ТСН) 10/6 кВ.

Показанная на рис. 2 схема включения элементов отходящих потребительских линий (шины — реактор — выключатель — линия) обычно применяется на напряжении 6—10 кВ на электростанциях с генераторами мощностью 63—100 МВт. Для повышения надежности электроснабжения потребителей, питающихся от шин 6—10 кВ, применяют комплекты РУ 6—10 кВ, позволяющие при ремонте выключателя производить быструю замену ячейки. Время перерыва питания ответственных потребителей при этом может быть минимальным.

Число секций в РУ зависит от числа и мощности источников питания. При одиночной секционированной системе шин с прямолинейной схемой секционные реакторы выбираются по номинальному току таким образом, чтобы при выходе из работы генератора на одной из крайних секций на нее могла быть подана мощность, соответствующая на-

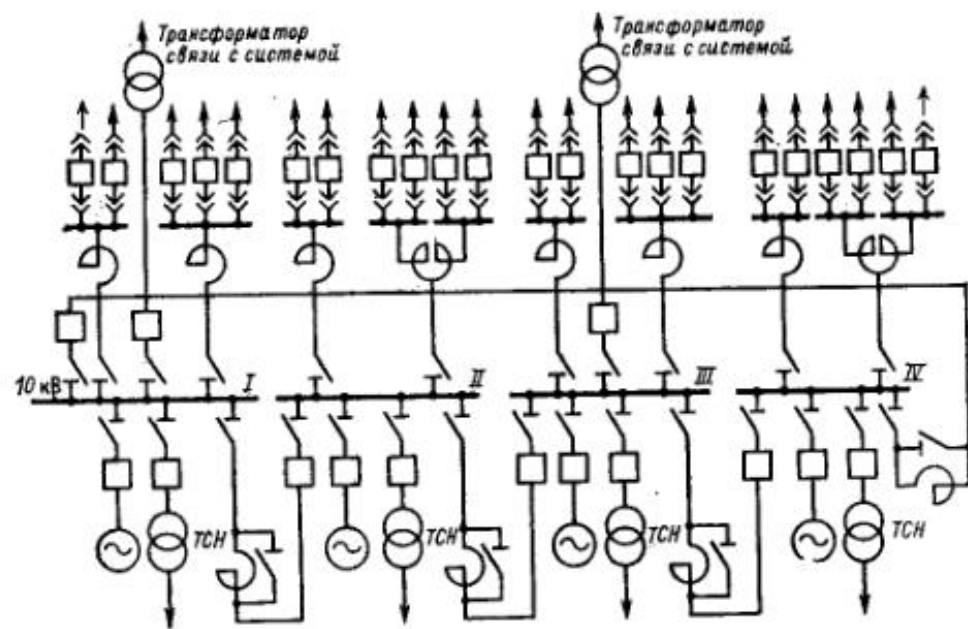


Рис. 3. Схема электрических соединений одиночной системы шин 10 кВ, соединенной в «кольцо»

грузке этой секции. Так как она обычно меньше мощности генератора, номинальный ток секционного реактора, как правило, принимается равным 60—80 % номинального тока генератора (генераторов) данной секции.

При числе секций, большем трех, во избежание перетоков мощности вдоль сборных шин и для создания крайним и средним секциям одинаковых эксплуатационных условий одиночную секционированную систему шин, как указано выше, замыкают в кольцо.

На рис. 3 приведена схема электростанции со сборными шинами, соединенными в «кольцо». Шины здесь секционированы на четыре части — по числу установленных генераторов. Крайние секции I и IV с помощью выключателя и секционного реактора соединены между собой и образуют замкнутое кольцо. В нормальном режиме все секционные выключатели включены и генераторы работают параллельно. Трансформаторы связи подключены симметрично к секциям I и III. Секционные реакторы рассчитаны на режим питания нагрузки секции при выходе из строя любого питающего элемента. Номинальный ток секционных реакторов в схеме «кольца» принимают равным 50—60 % номинального тока генератора.

Рассматриваемая схема обладает следующими преимуществами по сравнению с прямолинейной схемой: 1) при

КЗ на любой секции шин отключаются два секционных выключателя, связанные с этой секцией, и поврежденная секция отделяется от неповрежденных; при этом не нарушается параллельная работа отдельных генераторов; 2) схема симметрична в отношении токов КЗ, так как при коротких замыканиях на любой из секций токи КЗ одинаковы; 3) при отключении одного из генераторов нагрузка, присоединенная к его секции, питается от других генераторов с двух сторон, что создает меньшую разницу напряжений на смежных секциях и позволяет выбрать секционные реакторы меньшей пропускной способности, чем при прямолинейной схеме. Однако на установку дополнительных секционного выключателя и реактора и создание перемычки между крайними секциями требуются соответствующие затраты.

Рассмотренные выше схемы с одной секционированной системой шин (рис. 1—3) просты, наглядны и недороги. К недостаткам схем следует отнести снижение надежности питания потребителей при ремонтах сборных шин и шинных разъединителей и при повреждениях на одной из секций сборных шин, так как при этом неотвеченные потребители (питающиеся по одной линии) теряют питание, а ответственные потребители (имеющие питание от разных секций) питаются по одной цепи. Однако несмотря на эти недостатки схемы с одиночной секционированной системой шин широко применяются на станциях небольшой и средней мощности при количестве присоединений на секцию до шести—восьми. При большем числе присоединений используют схемы с двумя системами сборных шин.

**Двойная секционированная система шин.** На рис. 4 показана первичная схема электростанции с двумя системами сборных шин (рабочей и резервной). Рабочая система шин (СШ), как и в схемах с одиночной системой шин, секционирована, а резервная система шин, как правило, не секционирована. Кроме секционных выключателей, которые при нормальной работе включены, на каждой секции предусматриваются также шиносоединительные выключатели (ШСВ), отключенные в нормальном режиме. Каждое присоединение подключается к сборным шинам через развилку из двух разъединителей, один из которых нормально отключен.

Схема с двумя системами сборных шин позволяет: 1) поочередно ремонтировать сборные шины без перерыва в работе станции и без нарушения питания потребителей; 2) ремонтировать любой шинный разъединитель, отключая

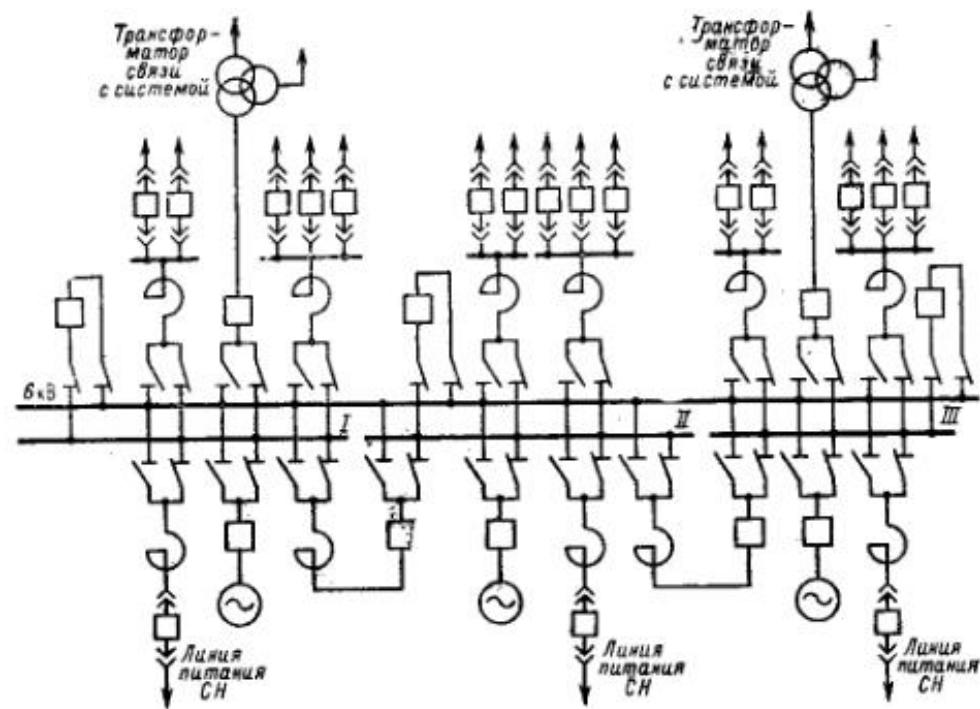


Рис. 4. Схема электрических соединений двойной системы шин 6 кВ

лишь одно присоединение (остальные присоединения переводятся на другую систему шин); 3) быстро восстанавливать работу станции при повреждении на секции (потребители теряют питание только на время, необходимое для переключения оперативным персоналом соответствующих присоединений на резервную систему шин).

Такая система применяется при большом числе присоединений на секцию, особенно в тех случаях, когда потребители питаются по нерезервируемым линиям.

Шиносоединительные выключатели используются для перевода любых присоединений с одной системы шин на другую без их отключения, а также для замены в случае необходимости любого из присоединенных к шинам выключателей. Кроме того, наличие ШСВ позволяет отказаться от установки разъединителей, шунтирующих секционные реакторы.

Операции по переводу присоединений с одной секции шин на другую, а также при ремонте сборных шин и аппаратуры 6—10 кВ должны проводиться в определенном порядке. Рассмотрим, например, порядок операций при выводе в ремонт секции рабочей системы шин. При этом необходимо все присоединения этой секции перевести с рабочей

на резервную систему шин. Для этого прежде всего надо проверить исправность последней, т. е. провести ее опробование, что обычно осуществляют с помощью ШСВ, реже — с помощью секционного выключателя. Включая ШСВ, ставят резервную систему шин под напряжение, и если на резервной системе шин существует КЗ, ШСВ отключается от устройств релейной защиты.

В настоящее время опробование резервной системы шин производится с использованием защиты шин соответствующей секции. Если резервная система шин исправна, начинают поочередный перевод присоединений секции с рабочей на резервную систему шин, для чего включают шинный разъединитель резервной системы шин переводимого присоединения и затем отключают шинный разъединитель рабочей системы шин этого же присоединения. Эта операция безопасна для персонала, так как при включенном ШСВ ножи и неподвижные контакты разъединителей находятся под одинаковым напряжением. Чтобы при переводе присоединения избежать разрыва его разъединителем тока нагрузки, предусмотрена блокировка, запрещающая отключение одного из разъединителей при отключенном втором разъединителе данной цепи, если выключатель данного присоединения включен. По окончании перевода всех цепей (потребителей, источников питания и секционных выключателей) на резервную систему шин отключаются ШСВ и его разъединитель со стороны выводимой в ремонт секции. Следует отметить, что перед началом перевода присоединений с одной системы шин на другую необходимо предварительно снять оперативный ток с ШСВ и вывести его защиту из действия.

Рассмотренная схема кроме указанных выше преимуществ имеет и недостатки, основной из которых — использование шинных разъединителей в качестве оперативных элементов, что несмотря на наличие блокировок может привести к короткому замыканию на шинах при ошибочных действиях персонала. Недостатками схемы являются также увеличение числа шинных разъединителей, усложнение конструкции распределительного устройства.

Как и в схемах с одиночной секционированной системой шин, при числе секций, большем трех, рабочая секционированная система шин замыкается в кольцо.

Двойная секционированная система шин с фиксированным распределением присоединений. На рис. 5 показана схема двойной системы шин 10 кВ. Эта схема применяется для надежного питания собственных нужд электростанции.

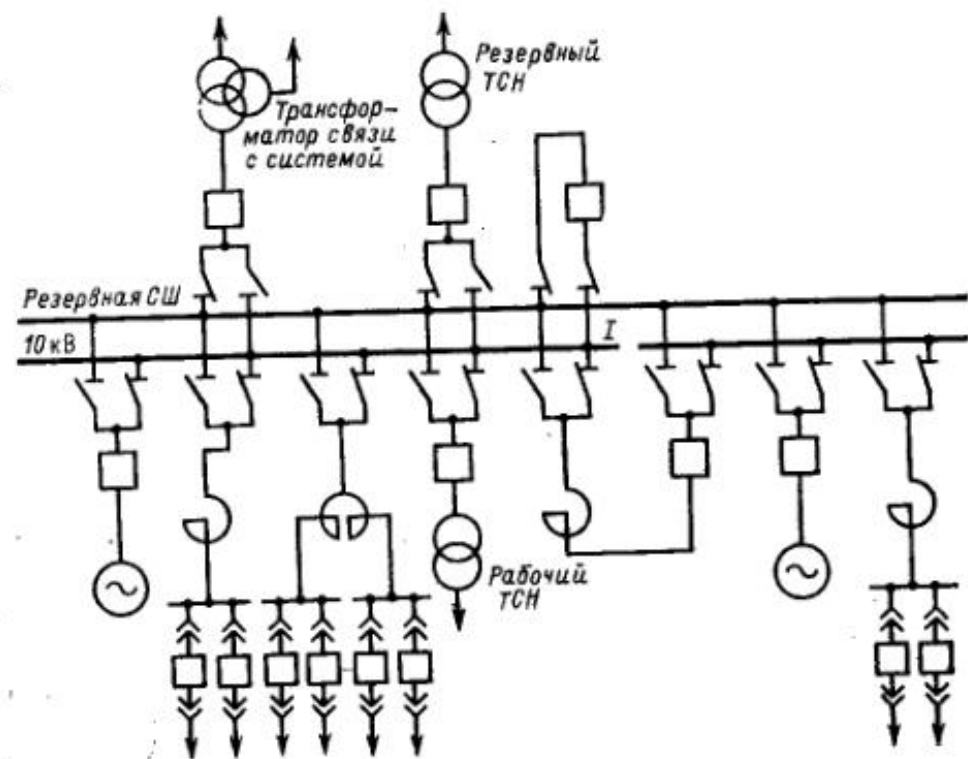


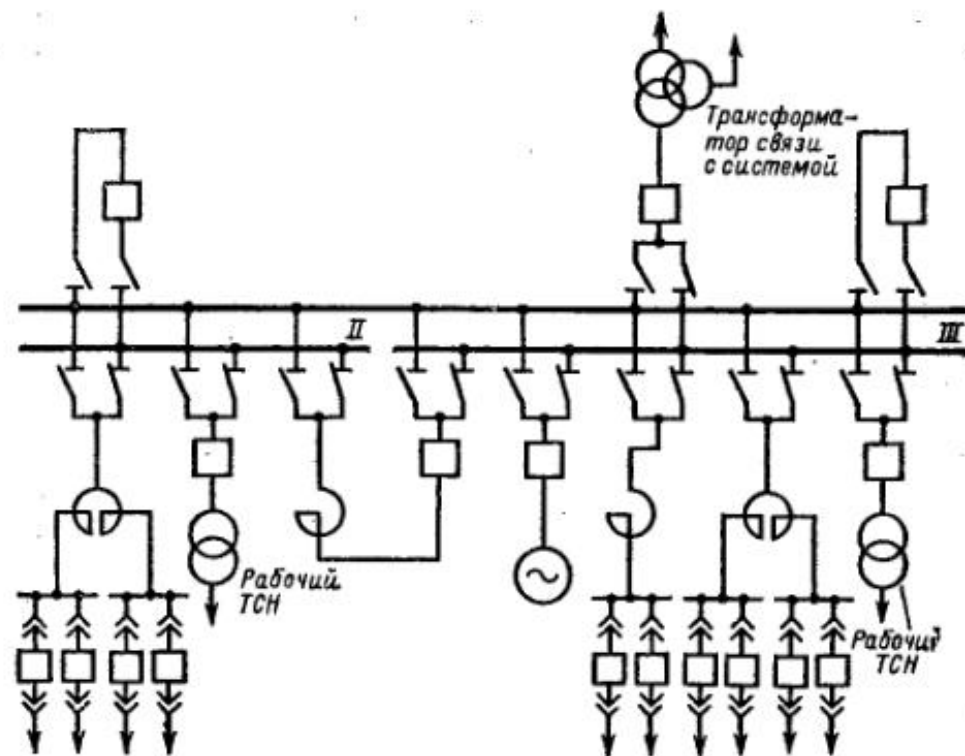
Рис. 5. Схема электрических соединений двойной системы шин 10 кВ с

Генератор и все отходящие потребительские линии, а также рабочий трансформатор собственных нужд (а при напряжении 6 кВ — линия питания собственных нужд) присоединяются к рабочей системе шин, а к резервной системе шин присоединяются трансформатор связи с системой и резервный источник питания собственных нужд — трансформатор или линия. Шинносоединительный выключатель одной рабочей секции в нормальном режиме включен, и обе системы шин находятся под напряжением, а ШСВ других секций отключены.

Селективное отключение при КЗ только поврежденной системы шин (рабочей или резервной) обеспечивается специальными схемами релейной защиты.

## 2. ПРИНЦИПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАЩИТЫ ШИН 6—10 кВ

Как показывает опыт эксплуатации, на сборных шинах 6—10 кВ тепловых электростанций в редких случаях могут возникнуть междуфазные КЗ в результате различных повреждений на этих шинах. К причинам, вызывающим эти повреждения, относятся перекрытие шинных изоляторов,



фиксированным распределением присоединений

вводов выключателей, измерительных трансформаторов тока (ТТ) и напряжения, поломка изоляторов разъединителей при операциях с ними, а также ошибки дежурного персонала при переключениях в распределительном устройстве 6—10 кВ.

Однофазные КЗ на землю на сборных шинах 6—10 кВ не возникают, так как сети 6—10 кВ в СССР работают или с изолированной нейтралью генераторов и трансформаторов, или как компенсированные, и поэтому для тока повреждения отсутствует электрическая цепь с относительно малым сопротивлением. При замыкании одной из фаз на землю в сети с изолированной нейтралью через место повреждения будут проходить только емкостные токи, обусловленные напряжением и емкостью неповрежденных фаз сети. При этом напряжение поврежденной фазы по отношению к земле становится равным нулю, а напряжения двух других фаз становятся равными междуфазным напряжениям, которые в этом режиме практически не изменяются, что обеспечивает нормальную работу потребителей.



Компенсацию емкостных токов, возникающих при замыкании на землю, осуществляют с помощью дугогасящего реактора (катушки), который устанавливается в заземленной нейтрали какого-либо трансформатора, присоединенного к сборным шинам 6—10 кВ. При наличии дугогасящего реактора кроме емкостных токов в месте замыкания на землю проходят и индуктивные токи, замыкающиеся через реактор. Эти токи противоположны по фазе, и в месте повреждения остаточный ток равен их разности.

В соответствии с «Правилами устройства электроустановок» [8] допускается работа сети 6—10 кВ с замыканием на землю в течение 2 ч. В связи с этим в данном режиме не требуется автоматического отключения источников питания от сборных шин. За указанный промежуток времени дежурный персонал электрической станции принимает меры к отысканию места повреждения (по приборам контроля изоляции участков сети 6—10 кВ). При двойной системе шин, как правило, дежурный персонал переводит все присоединения с поврежденной системы шин на неповрежденную.

На сборных шинах 6—10 кВ возможны и двойные замыкания на землю, если одновременно одна фаза на сборных шинах замкнется на землю, а другая фаза — в какой-либо другой точке сети. Такое повреждение возникает при ослабленной изоляции из-за перенапряжений, появляющихся при однофазном замыкании на землю. При этом ток в месте повреждения будет примерно такой же, как при двухфазном КЗ на шинах. Такое повреждение должно быть как можно быстрее отключено с помощью соответствующей защиты.

При наличии двойной системы шин 6—10 кВ и переводе на исправную свободную систему шин всех элементов, присоединенных к системе шин с однофазным замыканием на землю, уменьшается возможность возникновения двойного замыкания на землю, приводящего к обесточению работающей системы шин.

Для отключения КЗ на сборных шинах 6—10 кВ тепловых электрических станций можно использовать установленные на генераторах и трансформаторах связи максимальную токовую защиту с пуском по напряжению, действующую при трехфазных КЗ, и токовую защиту обратной последовательности, действующую при двухфазных КЗ. Однако эти защиты работают с большой выдержкой времени (до 6—8 с), что может привести к значительному увеличению размеров повреждений на шинах и к длительно-

му понижению напряжения на поврежденной и соседних неповрежденных секциях сборных шин. В связи с этим для ускорения ликвидации КЗ в ПУЭ [8] предусматривается установка специальной релейной защиты шин 6—10 кВ, которая должна действовать без выдержки времени при повреждениях на этих шинах на отключение всех присоединений, питающих поврежденные шины: генератора, трансформатора связи с энергосистемой и секционных реакторов, подключенных к поврежденной секции. Она также должна действовать на отключение линии или трансформатора собственных нужд, присоединенных к поврежденной системе шин, чтобы ускорить действие устройства автоматического включения резервного источника питания (АВР) собственных нужд.

В соответствии с [8] в качестве основной защиты сборных шин 6—10 кВ с реактированными линиями используется неполная дифференциальная токовая защита шин (ДЗШ). В отличие от полной дифференциальной токовой защиты шин, которая применяется при напряжениях шин 35—500 кВ с установкой трансформаторов тока на всех присоединениях, связанных с этими шинами, при напряжении 35 кВ — с установкой на фазах А и С, а при напряжениях 110—500 кВ — на всех трех фазах, неполная дифференциальная токовая защита шин 6—10 кВ выполняется на трансформаторах тока двух фаз (А и С), установленных только на питающих элементах, присоединенных к рассматриваемой системе шин (генераторе, трансформаторе связи, секционном реакторе, шиносоединительном выключателе, трансформаторе собственных нужд 10/6 кВ).

Установка трансформаторов тока в цепи трансформатора собственных нужд обеспечивает отключение повреждений в нем от собственных защит трансформатора и недействие защиты шин при этих повреждениях, поскольку они оказываются вне зоны ее действия, что позволяет сохранить в работе соответствующую систему шин.

При схеме полной дифференциальной токовой защиты шин в нормальном режиме в реле тока защиты проходит разность токов, притекающих к шинам и утекающих от них. Поскольку эти токи равны друг другу, в нормальном режиме тока в реле нет за исключением токов небаланса, обусловленных погрешностью трансформаторов тока.

При схеме неполной дифференциальной токовой защиты шин в нормальном режиме в реле протекает суммарный ток нагрузки, потребляемый отходящими линиями 6—10 кВ. В случае повреждения на питающем элементе за

трансформаторами тока неполной дифференциальной защиты шин последняя ведет себя как обычная дифференциальная токовая защита — она не действует при внешнем коротком замыкании.

Токовые реле неполной дифференциальной защиты шин включаются на сумму вторичных токов всех питающих элементов. Трансформаторы тока отходящих линий к защите шин не подключаются. Это упрощает схему защиты по сравнению со схемой полной дифференциальной защиты шин.

Как правило, трансформаторы тока для неполной дифференциальной токовой защиты шин 6—10 кВ выбираются с одинаковым коэффициентом трансформации, что исключает необходимость выравнивания вторичных токов на всех питающих элементах и повышает надежность защиты.

В реле тока неполной дифференциальной защиты шин 6—10 кВ проходит ток, равный геометрической сумме вторичных токов трансформаторов тока только питающих элементов; в реле проходит ток, соответствующий суммарной нагрузке. Поэтому в нормальном режиме защита шин представляет собой максимальную токовую защиту, действующую без выдержки времени на отключение всех питающих элементов в случае возникновения повреждений на шинах 6—10 кВ или на линиях до реакторов.

Неполная дифференциальная токовая защита шин не действует при КЗ в генераторе, в трансформаторе связи, а также в трансформаторе собственных нужд и за секционным реактором, так как при указанных повреждениях токи, поступающие в реле от трансформаторов тока защиты шин, уравниваются, как в обычной схеме полной дифференциальной защиты.

При повреждениях на отходящих линиях токи КЗ и нагрузки не балансируются, так как токи, проходящие по линиям, не влияют на работу реле, поскольку на них не установлены трансформаторы тока, которые участвовали бы в схеме защиты шин. В этом случае ток в реле тока защиты соответствует сумме токов КЗ, которые текут к месту повреждения от всех источников питания, и суммарного тока нагрузки линий. Эта особенность учитывается при выборе уставок защиты шин.

Как указано выше, в нормальном режиме в реле тока защиты проходит ток, соответствующий сумме токов, идущих от источников питания к линиям, и защита шин не срабатывает, потому что ток срабатывания выбирается большим, чем суммарный ток нагрузки линий.

**Защита шин 6—10 кВ с генераторами мощностью до 60 МВт** в соответствии с [8] выполняется в виде неполной дифференциальной токовой защиты.

Для секционированных шин 6—10 кВ с генераторами мощностью не более 12 МВт допускается не предусматривать специальную защиту; при этом ликвидация КЗ на шинах должна осуществляться действием максимальных токовых защит генераторов.

Неполная дифференциальная токовая защита состоит из двух ступеней. Первая ступень выполняется как токовая отсечка, а при недостаточной ее чувствительности она выполняется как комбинированная отсечка по току и напряжению.

Вторая ступень защиты представляет собой чувствительную максимальную токовую защиту с выдержкой времени, которая для обеспечения отключения КЗ за линейным реактором должна иметь повышенную чувствительность. Она служит и для резервирования первой ступени защиты шин, а также защит отходящих линий 6—10 кВ.

При схеме первичных соединений элементов 6—10 кВ с двойной секционированной системой шин с фиксированным распределением элементов предусматривается неполная дифференциальная токовая защита шин в исполнении для фиксированного распределения элементов, которая обеспечивает селективное отключение поврежденной рабочей или резервной системы шин.

На электростанциях с генераторами мощностью менее 60 МВт на отходящих линиях 6—10 кВ выключатели, установленные до реакторов, не рассчитаны на отключение КЗ до реакторов. На таких линиях устанавливается не токовая отсечка с действием без выдержки времени на отключение выключателя линии, а максимальная токовая защита с выдержкой времени. Поэтому первая ступень неполной дифференциальной токовой защиты шин действует без выдержки времени при повреждениях на шинах 6—10 кВ или в начальных витках реактора линии на отключение всех питающих элементов, подключенных к защищаемым шинам.

В рассмотренных ниже схемах защиты двойной системы шин 6—10 кВ предусмотрено замедление отключения всех выключателей питающих элементов при опробовании одной из систем шин с использованием защиты шин соответствующей секции. Опробование производится с помощью включения соответствующего ШСВ, на который защита шин действует без выдержки времени в случае по-

вреждений на опробуемой системе шин. При опробовании кратковременно автоматически снимается постоянный ток с выходных реле защиты, действующих на отключение всех питающих элементов, за исключением ШСВ. Выведение указанных выходных реле из действия происходит при включении ШСВ от его ключа управления.

Если при опробовании резервной системы шин держать ключ управления ШСВ долго во включенном состоянии, то защита шин не сможет подействовать в случае возникновения повреждения на рабочей системе шин, так как выходные реле защиты не сработают. Это является недостатком схем защиты шин, приведенных в [4]. В связи с этим были внесены соответствующие изменения в ранее разработанные схемы, позволяющие при опробовании свободной системы шин восстанавливать через заданное время цепь пуска выходных реле защиты шин.

Следует отметить, что можно использовать два способа опробования резервной системы шин 6—10 кВ включением ШСВ. Первый способ, изложенный выше, предусматривает включение ШСВ без установленной на нем защиты с использованием неполной дифференциальной защиты шин соответствующей секции 6—10 кВ. Эта защита при повреждении на опробуемой системе шин отключает без выдержки времени ШСВ и не действует на отключение питающих элементов. При исправности опробуемой системы шин ШСВ остается включенным, после чего производится перевод разъединителей присоединений на опробуемую систему шин и отключаются ранее включенные разъединители от другой системы шин.

Если освобожденная система шин подлежит ревизии или ремонту, то у ШСВ отключаются его разъединители от обеих систем шин, что дает возможность произвести его ремонт или ревизию.

При использовании вышеуказанного первого способа опробования резервной системы шин трансформаторы тока ШСВ в схеме защиты шин должны быть отсоединены от схемы защиты, что обеспечивает действие защиты шин в случае повреждения на опробуемой системе шин. Для этого следует вынуть крышку испытательного блока в цепях трансформаторов тока ШСВ, что приведет к их закорачиванию и отключению от схемы защиты шин.

При втором способе опробования резервной системы шин 6—10 кВ защита шин не используется, требуется включение собственной защиты на ШСВ и установка крышки испытательного блока в токовых цепях трансфор-

маторов тока ШСВ для дешунтирования их и введения в схему токовых цепей защиты шин. При этом повреждения на опробуемой системе шин будут уже вне зоны действия защиты (за трансформаторами тока ШСВ). При исправности опробуемой системы шин ШСВ остается включенным, защита на нем выводится из действия, закорачиваются его трансформаторы тока в схеме защиты шин (устанавливается крышка испытательного блока), после чего производится перевод разъединителей с рабочей системы шин на резервную.

Следует отметить, что выведение из действия защиты на ШСВ до производства операций по переводу разъединителей присоединений необходимо для предотвращения отключения ШСВ его защитой от токов нагрузки, в результате чего возможны включение и отключение разъединителями токов нагрузки при отключенном ШСВ, а это недопустимо, так как может вызвать перекрытие на шинах. В случае возникновения КЗ на шинах во время перевода разъединителей оно ликвидируется защитой шин, отключающей все питающие элементы.

При сравнении вышеуказанных способов опробования резервной системы шин видно, что использование в этом случае собственной максимальной токовой защиты, установленной на ШСВ, требует выполнения в определенной последовательности значительно большего числа операций, чем первый способ с использованием защиты шин. При втором способе возможны неправильные действия дежурного персонала, которые могут привести к отключению и включению разъединителем токов нагрузки.

В связи с этим в принятых схемах защиты шин 6—10 кВ в режиме опробования резервной системы шин используется неполная дифференциальная защита рабочей системы шин, действующая без выдержки времени на отключение ШСВ.

Все схемы защиты шин 6—10 кВ и защит, установленных на ШСВ и секционном реакторе, имеют двухфазное двухсистемное исполнение. Трансформаторы тока защиты выбираются с одинаковым коэффициентом трансформации и устанавливаются на фазах А и С. На этих же фазах установлены трансформаторы тока для защит других элементов в данной сети генераторного напряжения.

Заземление цепей трансформаторов тока защиты шин предусматривается в одной точке в удобном для подключения месте, обычно на панели защиты.

**Защита шин 6—10 кВ тепловых электростанций с генераторами мощностью 63—100 МВт.** Как указано в § 1, на современных мощных тепловых электростанциях с генераторами мощностью 63—100 МВт реакторы отходящих линий 6—10 кВ подключаются к сборным шинам без выключателей. Поэтому при применении описанной выше двухступенчатой неполной дифференциальной токовой защиты шин вторая ступень этой защиты должна обладать достаточной чувствительностью для отключения КЗ между реактором и установленным после него выключателем. Однако, как показали расчеты, вторая ступень указанной защиты не обладает требуемой чувствительностью (коэффициент чувствительности защиты  $k_{\tau} < 1,5$ ), так как суммарный ток нагрузки на секцию шин 6—10 кВ в режиме, когда одна из крайних секций отключена, примерно равен току КЗ за линейным реактором.

В связи с этим на указанных ТЭЦ защита шин 6—10 кВ выполняется с помощью двух устройств защиты: неполной дифференциальной токовой защиты и максимальной токовой защиты с поэлементным охватом реакторов питаемых линий, предложенной инженерами В. Н. Вавиным, А. З. Абрамович и И. З. Флеровой.

Неполная дифференциальная токовая защита предназначена для быстрого отключения повреждений на сборных шинах и в начальных витках реакторов отходящих линий.

Она выполняется в виде комбинированной токовой отсечки с пуском по напряжению, что повышает ее чувствительность.

Поэлементная максимальная токовая защита предназначена для действия при повреждениях в реакторе и в реакторной сборке и используется также для резервирования защит отходящих линий 6—10 кВ.

Она выполняется в виде отдельных комплектов, включаемых на трансформаторы тока, установленные со стороны шин 6—10 кВ до реакторов отходящих линий. Эта защита дополняется устройством, предотвращающим ее ложное срабатывание при проверках защиты на отключенной линии, в качестве которого применяется устройство типа КРБ-126 (на некоторых станциях применено ныне снятое с производства устройство типа КРБ-122).

В схеме защиты шин предусмотрена установка максимальной токовой защиты на секционном реакторе, которая нормально выведена из действия и вводится в работу в режиме опробования шин включением секционного реактора, а также в некоторых других режимах.

Все вышеуказанные защиты имеют двухфазное двухрейное исполнение с установкой трансформаторов тока на фазах А и С. Приведенные далее схемы защит шин выполнены для электрических станций с одним генератором на секцию. Но так как на напряжении 10 кВ могут параллельно работать два генератора мощностью по 63 МВт на секцию, в выходных реле защиты предусмотрен резервный контакт для отключения и второго генератора.

Неполная дифференциальная токовая защита действует на отключение всех питающих элементов, в том числе генератора, что обеспечивает полное обесточение шин и уменьшение развития повреждений на шинах.

Максимальная токовая защита с поэлементным охватом питаемых линий выполнена с действием на отключение с выдержкой времени всех питающих элементов, в том числе генератора. При этом обеспечивается надежное резервирование отключения КЗ за реакторами питаемых линий в случае отказа из-за большого остаточного напряжения максимальной токовой защиты с пуском по напряжению, установленной на генераторе, при трехфазном КЗ за реактором линии.

Неполная дифференциальная токовая защита выполняется с помощью реле тока и реле минимального напряжения. Она представляет собой комбинированную отсечку по току и напряжению. Токвые органы включаются на сумму вторичных токов трансформаторов тока (с одинаковыми коэффициентами трансформации), установленных на питающих элементах и трансформаторе собственных нужд, если он имеется.

В целях улучшения отстройки защиты от токов небаланса, проходящих в реле тока при сквозных КЗ, токвые органы защиты выполняются с помощью реле тока типа РНТ-560, содержащих быстроснасыщающиеся трансформаторы, поэтому они не реагируют на аperiodическую составляющую тока КЗ.

Орган напряжения защиты выполняется с помощью трех реле минимального напряжения типа РН-54/160, включенных на три междуфазных напряжения, которые подаются от трансформатора напряжения, установленного на шинах.

Рассматриваемая защита не действует при КЗ за реакторами отходящих линий, так как она отстраивается от них по току и напряжению.

Поэлементная максимальная токовая защита реакторов отходящих линий выполняется с помощью токовых реле,

которые подключаются к трансформаторам тока, специально установленным в цепях реакторов питаемых линий 6—10 кВ и линий собственных нужд 6 кВ электростанций со стороны сборных шин 6—10 кВ. Эта защита состоит из отдельных комплектов токовых реле, устанавливаемых на фазах А и С каждой отходящей линии. Каждый комплект, состоящий из двух реле тока типа РТ-40, действует на отключение всех питающих элементов через общее реле времени, которое в свою очередь действует на выходные промежуточные реле защиты шин.

Поэлементная максимальная токовая защита является многорелейной, и поэтому возможно ее ложное действие из-за ошибок персонала при проверке защиты. В связи с этим, как указано выше, она дополняется устройством блокировки типа КРБ-126, которое вводит ее в действие только при возникновении КЗ на линии.

Опыт эксплуатации устройств релейной защиты шин 6—10 кВ с генераторами 63—100 МВт, выполненных в соответствии с вышеизложенными принципами, показал, что в них необходимо внести ряд изменений и дополнений. Поэтому в институте Теплоэлектропроект были разработаны новые схемы защит шин 6—10 кВ для тепловых электростанций с генераторами мощностью 63—100 МВт, которые применяются в настоящее время на мощных ТЭЦ.

Для защиты шин генераторного напряжения 6—10 кВ предусматриваются, как и в прежних схемах, неполные дифференциальные токовые защиты и поэлементные максимальные токовые защиты для отходящих реактированных линий. Кроме того, применяется ранее не предусмотренная дифференциальная токовая защита секционного реактора.

**Новая неполная дифференциальная токовая защита** в отличие от прежде применявшихся не реагирует на повреждение в секционном реакторе, который оснащается собственной продольной дифференциальной токовой защитой. Защита выполняется также в виде комбинированной отсечки по току и напряжению с помощью двух реле тока, включенных на сумму токов трансформаторов тока с одинаковыми коэффициентами трансформации, установленных на питающих элементах и на трансформаторе собственных нужд. Для улучшения отстройки от токов небаланса при сквозных КЗ токовые органы защиты выполняются с помощью дифференциальных реле тока типа РНТ-567. Орган напряжения защиты, состоящий из трех реле минимального напряжения, питается от трансформатора напряжения,

установленного на сборных шинах 6—10 кВ. Для контроля исправности цепей трансформатора напряжения используется центральное устройство, предусмотренное в схеме его вторичных цепей.

**Дифференциальная токовая защита секционного реактора** в прежних схемах защиты шин 6—10 кВ отсутствовала. При повреждении между реактором и секционным выключателем отключались обе секции: секция, к которой присоединен секционный выключатель, отключалась от защиты шин данной секции, а вторая секция, к которой секционный реактор присоединен без выключателя, отключалась от максимальной токовой защиты этого реактора, которая автоматически вводилась в действие от контактов реле контроля положения секционного выключателя РПВ, замыкающихся при отключении этого выключателя. Для сохранения в работе секции, к которой присоединен выключатель секционного реактора, и предусматривается установка отдельной дифференциальной токовой защиты секционного реактора. Эта защита при повреждениях в реакторе, а также между реактором и секционным выключателем действует на выходные промежуточные реле защиты шин секции, к которой секционный реактор подключен без выключателя. От этих реле без выдержки времени отключаются все питающие элементы, а также секционные выключатели, связывающие эту секцию с другими смежными секциями. Таким образом сохраняются в работе при повреждениях в секционном реакторе другие секции, что повышает надежность питания потребителей.

В связи с применением этой защиты секционный выключатель устанавливается со стороны шин 6—10 кВ, а трансформаторы тока, которые ранее были установлены со стороны шин, устанавливаются между выключателем и реактором. При этом появляется зона возможной неселективной работы защиты шин при повреждениях на участке между секционным выключателем и его трансформаторами тока. В этом случае дифференциальная токовая защита секционного реактора не действует, так как КЗ находится вне зоны действия этой защиты. В действие приходит неполная дифференциальная токовая защита шин секции, к которой подключен секционный выключатель, так как место КЗ находится в зоне действия этой защиты (до трансформаторов тока данной защиты), и происходит отключение всех питающих элементов, присоединенных к этой секции. Для защиты шин второй секции, к которой секционный реактор присоединен без выключателя, рассматриваемое

повреждение находится вне зоны действия (за трансформаторами тока этой защиты), поэтому она не действует. Однако эта секция отключается от установленной на секционном реакторе максимальной токовой отсечки, которая автоматически вводится в действие после отключения секционного выключателя от защиты шин смежной секции. Таким образом, при повреждениях в указанном месте отключаются обе секции шин 6—10 кВ. Эту зону неселективной работы защиты шин стараются свести до минимума, и обычно она составляет примерно 2—4 м.

**Поэлементная максимальная токовая защита отходящих реактированных линий 6—10 кВ** в части токовых цепей в новых схемах защиты шин 6—10 кВ выполняется так же, как и в ранее разработанных схемах. В этих схемах при выводе для проверки неполной дифференциальной токовой защиты шин (при снятии крышки испытательного блока в цепях постоянного и переменного тока защиты шин) одновременно выводилась из действия поэлементная токовая защита, вследствие чего реакторы отходящих линий оставались без защиты, а защита, установленная на линиях после реакторов, лишалась резервирования. Для устранения этого недостатка в схемах, применяемых в настоящее время, предусматривается на время вывода в резервацию неполной дифференциальной токовой защиты перевод действия пусковых органов поэлементной токовой защиты с помощью переключателя на специально предусмотренные реле времени и промежуточные реле для отключения питающих элементов при повреждении в реакторе или при отказе защит отходящих линий. Этим переключателем выводится из действия также контакт блокирующего реле в устройстве КРБ-126, вследствие чего защита лишается контроля наличия повреждений на линиях, что в связи с кратковременностью данного режима считается допустимым.

### 3. СХЕМЫ ЗАЩИТЫ ШИН 6—10 кВ

**Защита сборных шин электростанций с генераторами мощностью менее 60 МВт**

Схема неполной дифференциальной токовой защиты двойной системы шин 10 кВ с токовой отсечкой и резервной максимальной токовой защитой, выполненная в соответствии с «Руководящими указаниями по релейной защи-

те шин 6—220 кВ» [4], приведена на рис. 6. Схема дана для секции II шин 10 кВ.

Первая ступень защиты — токовая отсечка без выдержки времени — выполнена с помощью двух реле тока *РТ1* и *РТ2*. Она предназначена для отключения повреждений на сборных шинах и в начальных витках реакторов отходящих линий. Выключатели, установленные на линиях, не рассчитаны на отключение КЗ до реактора, и поэтому на линиях не устанавливается токовая отсечка мгновенного действия. Линии оборудованы только максимальной токовой защитой с выдержкой времени. Первая ступень защиты шин действует на отключение трансформатора связи с системой и трансформатора собственных нужд через выходные промежуточные реле их собственных защит, а также на отключение секционных выключателей *В5* и *В8*. Она может действовать на отключение генератора без выдержки времени через выходные реле защит генератора при включенной накладке *Н4*. Как указано выше, в настоящее время принято производить отключение генератора без выдержки времени от первой ступени защиты. В отдельных случаях допускается не отключать генератор от токовой отсечки. При этом необходимо ускорить действие резервной защиты генератора для отключения его при оставшемся повреждении на шинах (см. § 2).

Вторая ступень защиты шин выполнена в виде обычной максимальной токовой защиты с реле тока *РТ3*, *РТ4* и реле времени *РВ1*. Она предназначена для резервирования токовой отсечки защиты шин (первой ступени) и защит отходящих реактированных линий. Эта ступень защиты действует с выдержкой времени на отключение всех питающих элементов, включая генератор.

Как видно из рис. 6, в схему защиты шин входят трансформаторы тока, установленные в цепи трансформатора собственных нужд. При этом предотвращается неселективное действие защиты шин при повреждениях в трансформаторе, которые отключаются установленными на нем защитами.

Для сборных шин 6 кВ с реактированными линиями собственных нужд, на которых выключатели также не рассчитаны на отключение КЗ до реактора, схемой защиты шин эти линии не охватываются (на них не устанавливаются трансформаторы тока для участия в схеме защиты шин) и повреждения до реакторов данных линий отключаются защитой шин — токовой отсечкой.

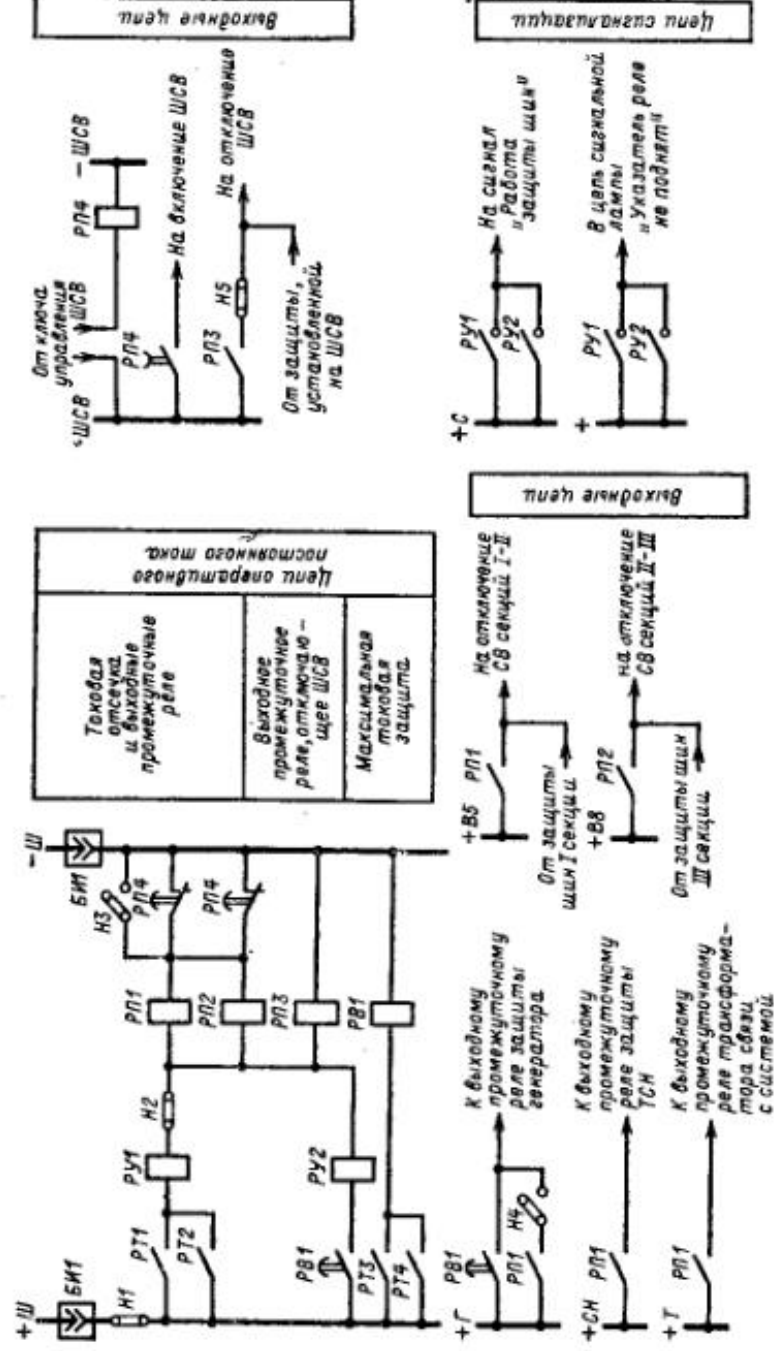
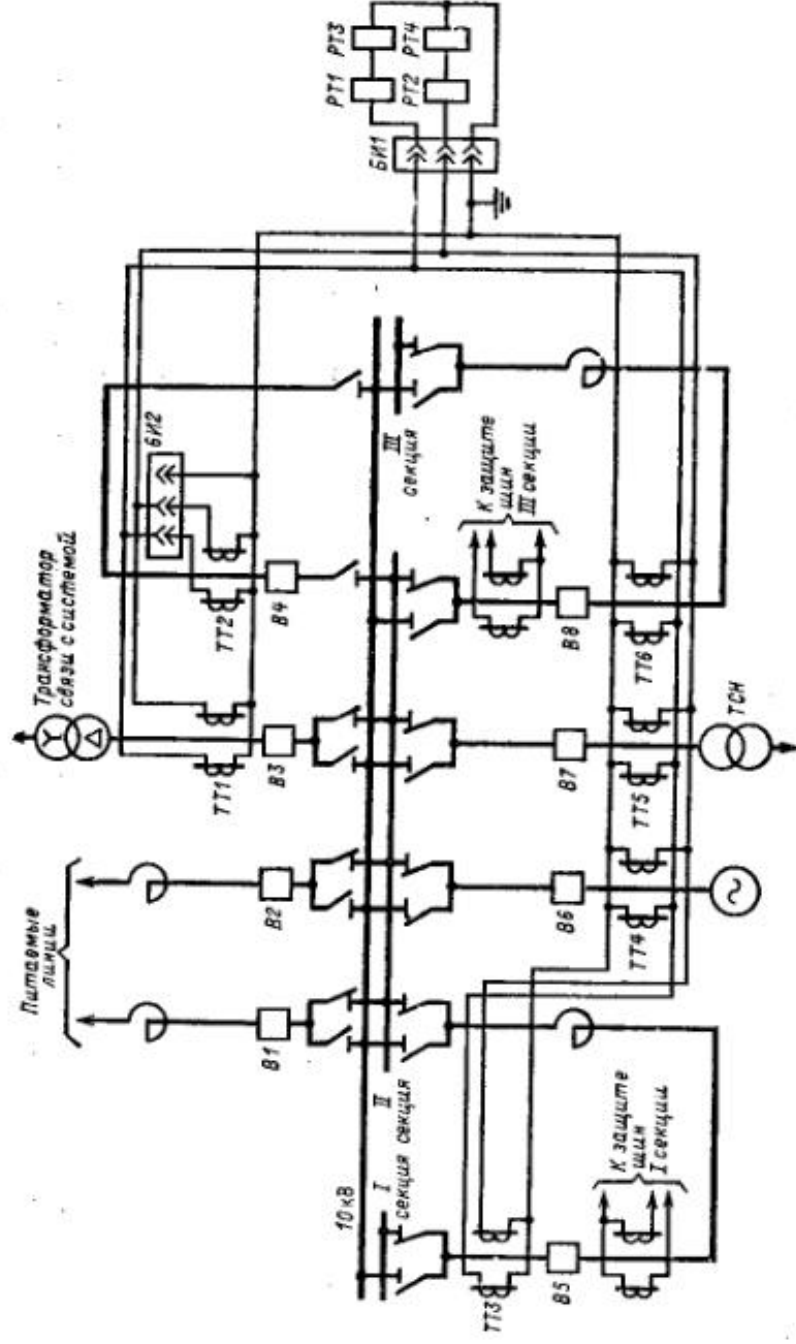


Рис. 6. Схема неполной дифференциальной токовой защиты двойной системы шин 6—10 кВ с токовой отсечкой и резервной максимальной токовой защитой:  
 РТ1—РТ4 — реле тока РТ-40; РВ1 — реле времени РВ-132; РП1—РП3 — реле промежуточные РП-23; РП4 — реле промежуточное РП-252; РУ1, РУ2 — реле указательные РУ-21/0,025; Н1—Н5 — накладки НКР-3; БИ1 — блок испытательный БИ-6; БИ2 — блок ис- пытательный БИ-4

На шиносоединительном выключателе установлены трансформаторы тока *ТТ2*, которые нормально отсоединены (зашунтированы) от токовых цепей защиты шин с помощью испытательного блока *БИ2*, на котором крышка должна быть снята. Они вводятся в схему защиты шин в режимах, когда через ШСВ питается один или несколько элементов 6—10 кВ, присоединенных к резервной системе шин или к другой секции рабочей системы шин. В этом случае защита на ШСВ должна быть введена в действие. Повреждения на резервной системе шин при установленной крышке указанного испытательного блока будут вне зоны действия защиты шин рабочей секции и будут отключаться защитой, установленной на ШСВ.

Как указано выше, защита шин используется для опробования свободной, находящейся в резерве системы шин, для чего в защите предусмотрено замедление отключения выключателей питающих элементов и трансформатора собственных нужд. Для этого используется промежуточное реле *РП4* (типа РП-252), которое при срабатывании снимает минус с цепи обмоток выходных реле *РП1*, *РП2* защиты шин. Реле *РП4* имеет замедление при возврате, большее суммарного времени действия защиты и отключения ШСВ. Но на промежуточном реле *РП3*, которое предназначено для отключения ШСВ, цепь отключения без выдержки времени сохраняется, что и обеспечивает отключение только ШСВ при повреждениях на опробуемой системе шин.

При выводе в ремонт ШСВ на длительное время возможно многократное его опробование, что будет приводить каждый раз к срабатыванию реле *РП4*, выводящего из действия, как указано выше, выходные реле защиты шин. Поэтому в этом режиме необходимо включать накладку *Н3*, замыкающую цепь подачи минуса на обмотки выходных реле защиты шин.

В схеме защиты шин предусмотрена накладка *Н5*, позволяющая разомкнуть цепь отключения ШСВ от защиты шин. Эта накладка размыкается дежурным персоналом при переводе элементов распределительного устройства с одной системы шин на другую, для того чтобы предотвратить отключение ШСВ и разрыв разъединителем тока повреждения при КЗ на шинах в период, когда замкнуты оба разъединителя одного из переводимых элементов.

В приведенной схеме на рис. 6 первая ступень защиты — токовая отсечка — выполнена без пуска по напряжению в предположении, что она и так обладает требуемой чувствительностью ( $k_n \geq 1,5$ ) при повреждениях на шинах.

В тех случаях, когда чувствительность этой защиты оказывается недостаточной, она выполняется в виде комбинированной отсечки по току и напряжению аналогично схеме, приведенной на рис. 7. Резервная максимальная токовая защита выполняется по схеме, приведенной на рис. 6.

#### Защита сборных шин электростанций с генераторами мощностью 63—100 МВт

Схема защиты одиночной системы шин генераторного напряжения 10 кВ с поэлементным охватом реакторов отходящих линий приведена на рис. 7. Схема дана для секции II шин 10 кВ с учетом питания собственных нужд 6 кВ от трансформатора собственных нужд напряжением 10/6 кВ.

Для защиты шин от междуфазных КЗ предусмотрена неполная дифференциальная токовая защита с использованием комбинированной отсечки по току и напряжению. Для данной защиты используются два реле тока *РТН1* и *РТН2* с насыщающимися трансформаторами типа РНТ-567, включенные на сумму вторичных токов трансформаторов тока, установленных на питающих элементах (генераторе, трансформаторе связи с системой и на секционных реакторах), а также на трансформаторе собственных нужд.

Пуск по напряжению осуществляется от трех реле *РН1*, *РН2* и *РН3* минимального напряжения (типа РН-53/60Д), которые включаются на линейные напряжения трансформаторов напряжения, установленных на защищаемой секции II шин.

Комбинированная отсечка по току и напряжению действует без выдержки времени на отключение генератора, трансформатора связи и секционных реакторов, связывающих секции I—II и II—III, а также трансформатора собственных нужд с целью ускорения действия устройства АВР.

Поэлементная максимальная токовая защита выполняется на каждой линии с помощью двух реле тока типа РТ-40, которые подключаются к трансформаторам тока фаз А и С, установленным на линии до реактора. Эти реле *РТ1—РТ4* запускают общее реле времени *РВ1*, которое после истечения установленной выдержки времени действует на отключение всех питающих элементов и трансформаторов собственных нужд через выходные реле *РП1* и *РП2*, входящие в схему защиты шин.



В схеме поэлементной максимальной токовой защиты предусмотрено устройство, фиксирующее режим появления КЗ. В качестве такого устройства используется так называемая блокировка при качаниях типа КРБ-122 (ныне снятая с производства) или типа КРБ-126.

Устройство КРБ-126 применяется в дистанционных защитах линий напряжением 110 кВ и выше для предотвращения возможности неправильной работы этих защит при качаниях в электрической системе. При нарушении синхронной работы генераторов в электрической системе возникают явления, которые называются качаниями. Они сопровождаются увеличением тока и снижением напряжения в сети, что может привести к действию тех защит, которые реагируют на изменения тока, напряжения и сопротивления, подводимых к защите. Необходимо обеспечить недей-

ствие защиты при качаниях в электрической системе; так как ряд защит, например дистанционная, токовая отсечка и др., воспринимают качания как симметричное КЗ, а неправильные действия защиты могут привести к тяжелым авариям. В связи с этим и применяется специальная блокировка от качаний, которая должна предотвратить возможность ложной работы защит в этом режиме.

Устройство КРБ-126 предотвращает возможную ложную работу максимальной токовой защиты при ее проверках и вводит ее в действие только при КЗ. Нормально защита заблокирована с помощью разомкнутого контакта 1РП.3 реле 1РП данного устройства в цепи пуска промежуточного реле РПЗ.

Пусковой орган устройства КРБ-126 содержит фильтр тока обратной последовательности (ФТОП), который

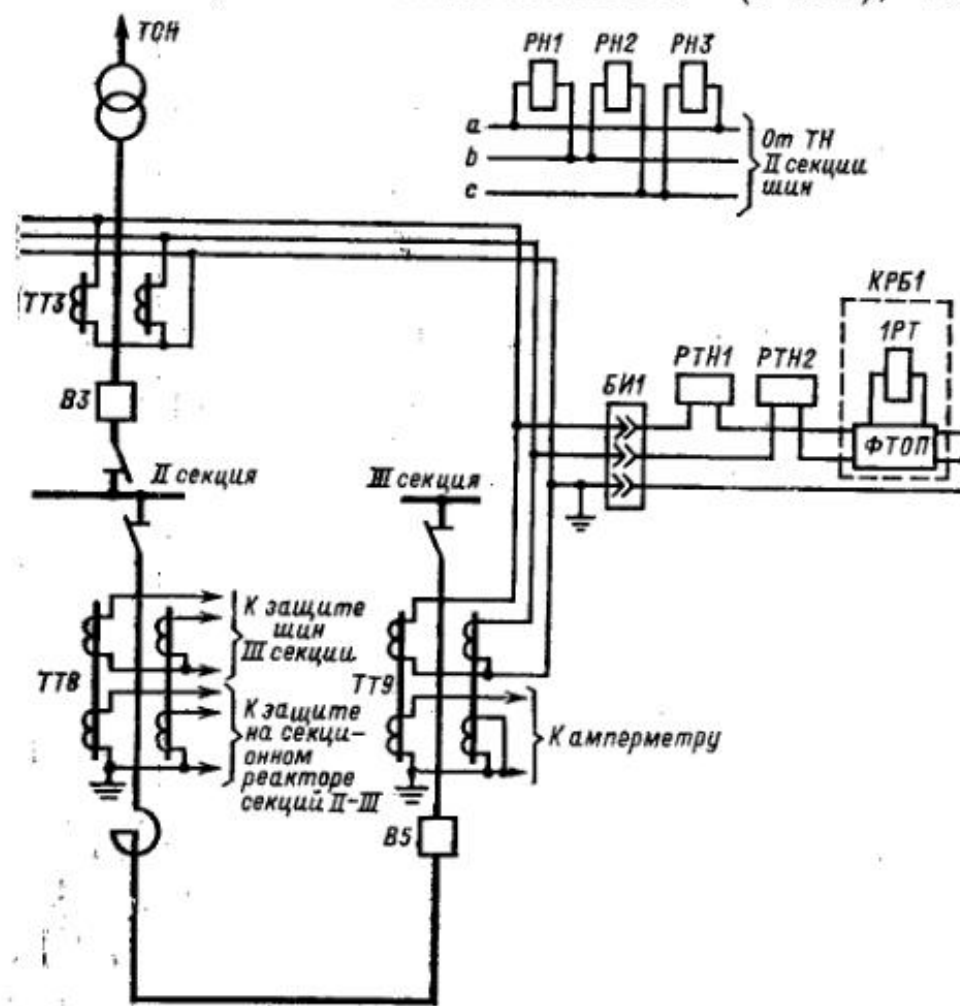
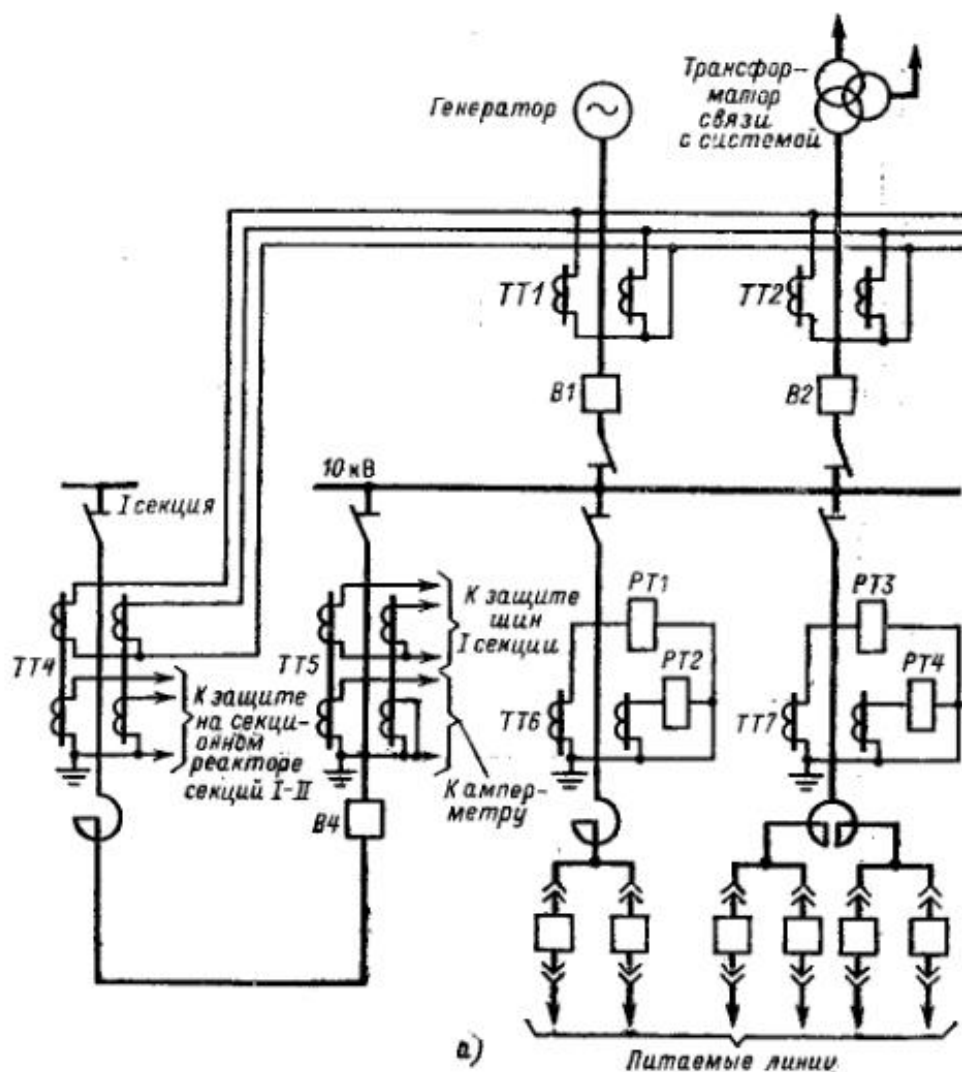


Рис. 7.

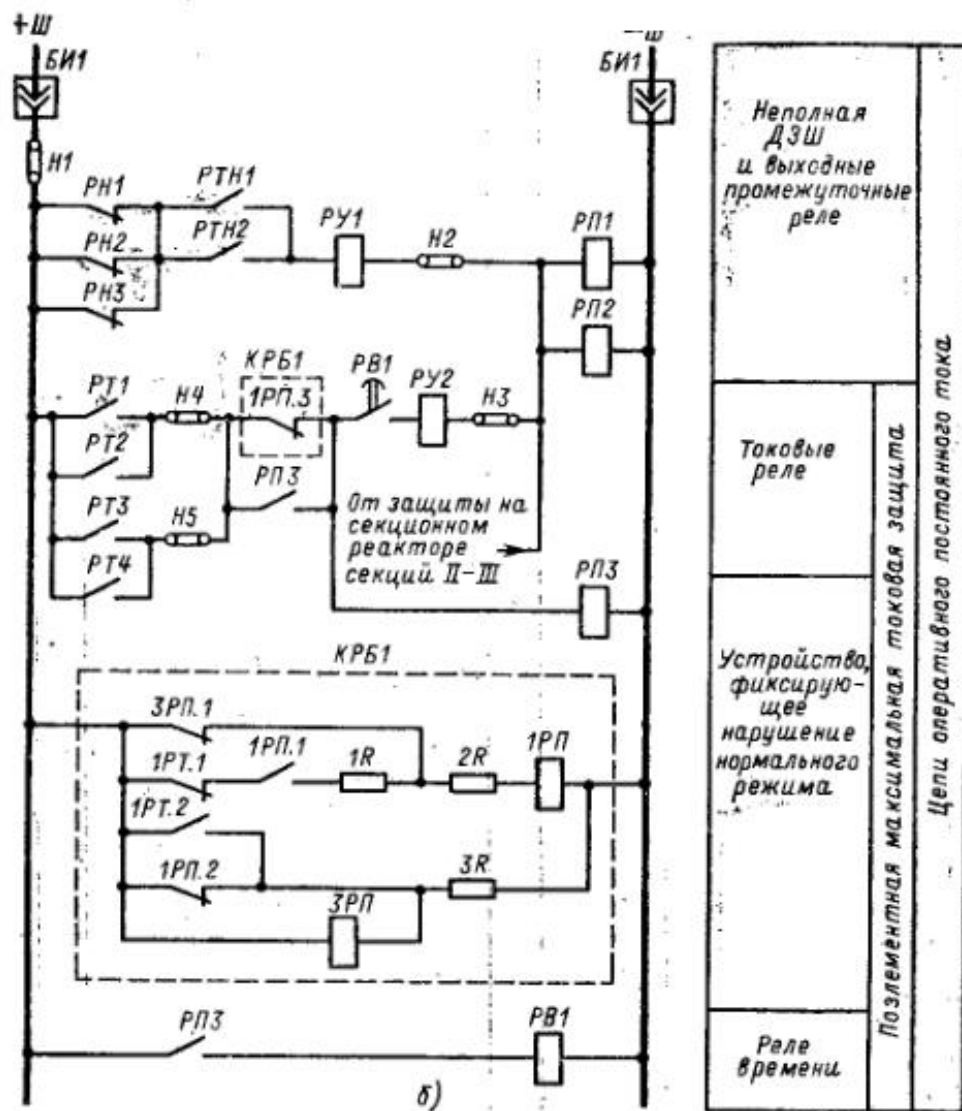
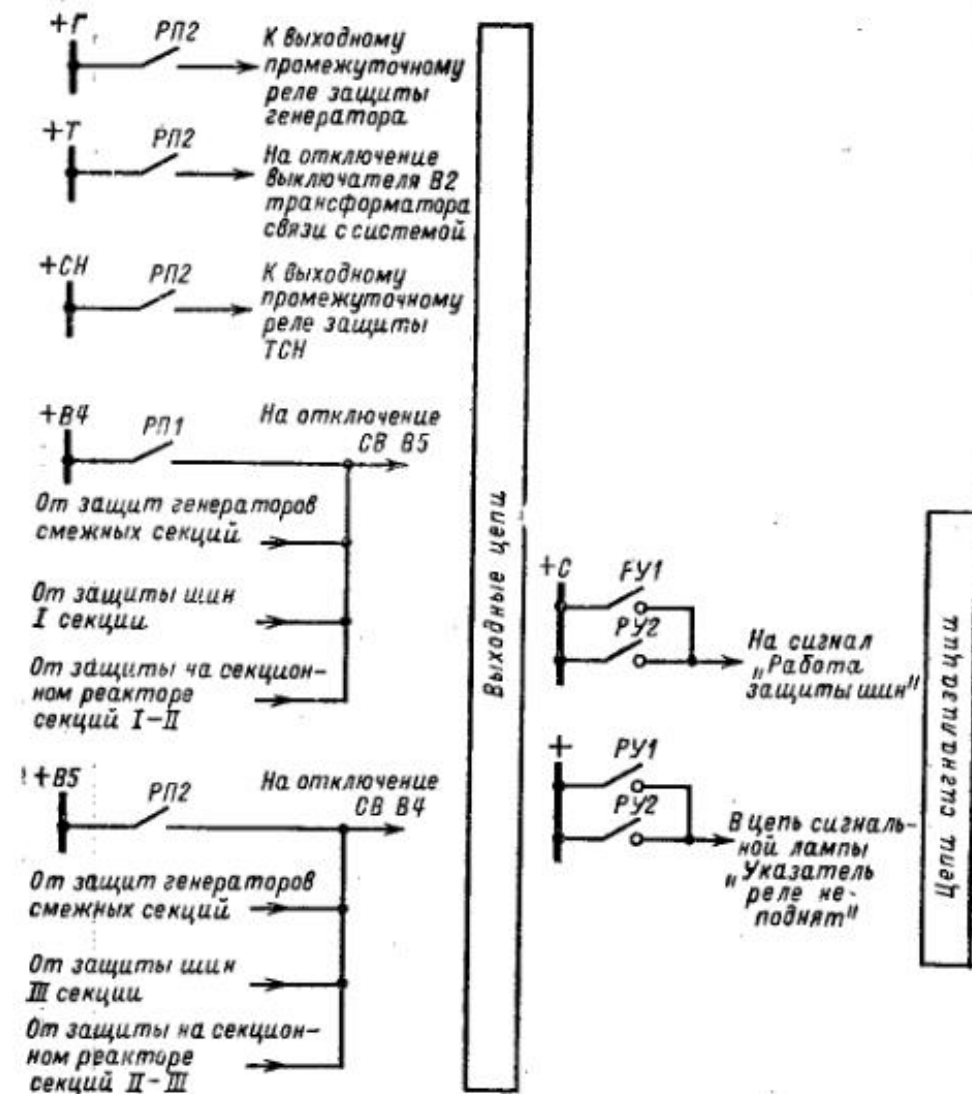


Рис. 7. Схема защиты одиночной системы шин 10 кВ с поэлементным а — цепи переменного тока; б — цепи постоянного тока;  $PTN1, PTN2$  — реле тока КРБ1 — устройство блокировки при качаниях КРБ-126;  $PВ1$  — реле времени  $PY-21/0,025$ ;  $H1-H5$  — накладки НКР-3;  $БИ1$  — блок испытательный БИ-6

включается на суммарный ток всех питающих элементов, присоединенных к соответствующей секции шин 6—10 кВ. На выходе фильтра подключено пусковое токовое реле  $1PT$ . Оно реагирует на токи обратной последовательности, которые появляются при несимметричных КЗ, а также кратковременно и при трехфазных КЗ. Кратковременное появление сигнала на выходе фильтра тока обратной последовательности устройства КРБ-126 объясняется тем, что несимметрия даже при включении линии на закорочен-



охватом реакторов отходящих линий:

$PNT-565$ ;  $PT1-PT4$  — реле тока РТ-40;  $RH1-RH3$  — реле напряжения РН-54/160;  $PВ-134$ ;  $PP1-PP3$  — реле промежуточные РП-23;  $PY1, PY2$  — реле указательные

ные три фазы возникает вследствие неодновременного замыкания фаз выключателя, а при одновременном (что маловероятно) замыкании всех трех фаз — за счет переходных процессов, возникающих в фильтре токов обратной последовательности. Следует отметить, что реле напряжения и реле времени, входящие в заводской комплект блокировки КРБ-126, в схеме защиты шин 6—10 кВ не используются.

До подачи постоянного тока на панель защиты шин (до установки крышки испытательного блока  $БИ1$ ) в устрой-

стве КРБ-126 замкнуты контакты *ЗРП.1*, *1РП.2*, *1РП.3* и *1РТ.1* и разомкнуты контакты *1РП.1* и *1РТ.2*. После подачи напряжения постоянного тока на панель защиты (после установки крышки испытательного блока *БИ1*) и при нормальном режиме работы шин 6—10 кВ без задержки срабатывает промежуточное реле *1РП*, цепь питания обмотки которого замкнута через контакт реле *ЗРП*. При этом замыкаются контакты *1РП.2*, *1РП.3* и замыкается контакт *1РП.1*, создается цепь самоудерживания этого реле через контакты *1РТ.1* и *1РП.1*. Размыкание контакта *1РП.2*, который шунтирует обмотку реле *ЗРП*, приводит к срабатыванию этого реле, которое с задержкой своим контактом размыкает пусковую цепь реле *1РП*. Размыкание контакта *1РП.3* приводит к разрыву цепи обмотки промежуточного реле *РПЗ* в схеме поэлементной максимальной токовой защиты.

При повреждении на какой-либо отходящей линии 6—10 кВ хотя бы кратковременно появляются токи обратной последовательности, срабатывает реле тока *1РТ*. При этом размыкается его контакт *1РТ.1* и замыкается контакт *1РТ.2*. Размыкание контакта *1РТ.1* приводит к отпаданию промежуточного реле *1РП*, вследствие чего замыкаются его контакты *1РП.2* и *1РП.3* и размыкается контакт *1РП.1*. Через замкнутый контакт *1РП.3* и контакты реле тока *РТ1—РТ4* поэлементной максимальной токовой защиты поврежденной отходящей линии подается «плюс» на обмотку промежуточного реле *РПЗ*, которое запускает реле времени *РВ1*, а последнее с соответствующей выдержкой времени действует на отключение всех питающих элементов данной секции.

Следует отметить, что контакт *1РП.3* вводит в действие поэлементную максимальную токовую защиту на время, определяемое временем задержки реле *ЗРП*, которое составляет примерно 0,35—0,4 с. Учитывая, что эта защита действует с большим временем (порядка 0,7—3 с), предусматривают самоудерживание выносного промежуточного реле *РПЗ*, которое действует на реле времени. Самоудерживание выходного промежуточного реле *РПЗ* необходимо, поскольку контакт *1РТ.2* шунтирует обмотку реле *ЗРП*, вследствие чего его контакт *ЗРП.1* замыкается еще до отключения повреждения и быстро восстанавливается нормальное положение реле *1РП*. Реле *РПЗ* возвращается в исходное состояние после отключения КЗ, когда реле тока поэлементной защиты размыкают свои контакты после отключения КЗ на линии.

В рассматриваемой схеме на рис. 7 имеются накладки *Н2* и *Н3*, предназначенные для вывода из действия соответственно неполной дифференциальной и поэлементной максимальной токовых защит при проверках или неисправностях их. Кроме того, предусмотрены накладки *Н4*, *Н5* на каждом комплекте поэлементной токовой защиты для возможности вывода из действия этого комплекта при проверке реле и трансформаторов тока этой линии.

Как видно из схемы, приведенной на рис. 7, трансформаторы тока *ТТ4*, установленные на секционном реакторе секций *I—II* со стороны секции *I*, и трансформаторы тока *ТТ9* на секционном выключателе секций *II—III* со стороны секции *III*, участвуют в схеме защиты шин секции *II*. Это предотвращает срабатывание защиты шин секции *II* при повреждениях на смежных секциях *I* и *III*, поскольку они находятся вне зоны ее действия.

На сборных шинах 6 кВ питание потребителей собственных нужд осуществляется от реактированных линий 6 кВ, которые не охватываются защитой шин 6 кВ. Неполная дифференциальная токовая защита шин выполняется так же, как на схеме рис. 7, но с использованием трансформаторов тока только питающих элементов. При повреждениях до реактора линии собственных нужд защита шин действует без выдержки времени на отключение всех питающих элементов. Она отключает также выключатель рабочей линии собственных нужд для ускорения включения от устройства АВР резервной линии, присоединенной к другой секции шин.

Повреждения в реакторе линии собственных нужд ликвидируются так же, как и на отходящих линиях 6 кВ, — поэлементной максимальной токовой защитой с использованием устройства КРБ-126.

На резервной линии питания собственных нужд предусматривается поэлементная максимальная токовая защита с пуском по напряжению, обеспечивающим необходимую чувствительность.

Защиты шин секций *I* и *III* выполняются аналогично защите шин секции *II*, но с действием соответственно на отключение секционных реакторов секций *I—II* и *II—III*.

Недостатком рассматриваемой схемы защиты является возможность одновременного отключения смежных секций *I* и *II* при КЗ между реактором и секционным выключателем *В4* секций *I* и *II*. В этом случае секция *II* отключается от неполной дифференциальной токовой защиты шин данной секции, а секция *I* отключается от максимальной

токовой защиты секционного реактора, которая вводится автоматически в действие после отключения секционного выключателя (см. § 2). Защита шин секции I в этом случае не срабатывает, так как остаточное напряжение на шинах этой секции при КЗ за реактором будет больше уставки реле минимального напряжения органа пуска по напряжению защиты шин секции I.

Этот недостаток можно устранить, если предусмотреть при указанном выше повреждении отключение от защиты шин секции II только секционного выключателя, присоединенного к секции II, с сохранением в работе питающих элементов данной секции. А повреждение, которое продолжает питаться от секции I через секционный реактор, будет ликвидировано максимальной токовой защитой секционного реактора, вводимой автоматически в действие после отключения секционного реактора и действующей на отключение всех питающих элементов, присоединенных к секции I шин.

Для ликвидации указанного выше недостатка защиты рекомендуется (см. п. 4.16 [9]) внести в схемы защиты изменения, приведенные на рис. 8.

Как видно из этого рисунка, при повреждениях между секционным реактором и секционным выключателем ВЗ, присоединенным к секции II, от защиты шин секции II срабатывает выходное промежуточное реле РП1, которое действует на отключение секционного выключателя. Выключатели В4 и В5 питающих элементов секции II (генератора и трансформатора связи) не отключаются, так как в результате срабатывания реле тока РТН1 и РТН2 защиты секции I размыкаются их контакты и выходное промежуточное реле РП2, действующее на отключение питающих элементов секции II, не срабатывает. Таким образом сохраняется в работе секция II, отделившаяся после отключения секционного выключателя ВЗ от места повреждения.

При повреждениях между трансформаторами тока секционного выключателя, установленными со стороны секции II, и выключателем ВЗ необходимо отключить питающие элементы секции II. Но выходное промежуточное реле РП2 не приходит в действие, так как при этом повреждении размыкаются блокирующие контакты токовых реле РТН1 и РТН2 защиты шин секции I. В связи с этим предусматривается установка реле времени РВЗ, которое запускается защитой шин секции II, и с выдержкой времени порядка 0,3 с его замыкающий контакт шунтирует цепь

блокирующих контактов реле тока РТН1 и РТН2. Промежуточное реле РП2 срабатывает и действует на отключение питающих элементов секции II шин.

При КЗ на сборных шинах секции II реле тока РТН1 и РТН2 защиты шин секции I не срабатывают, так как эти

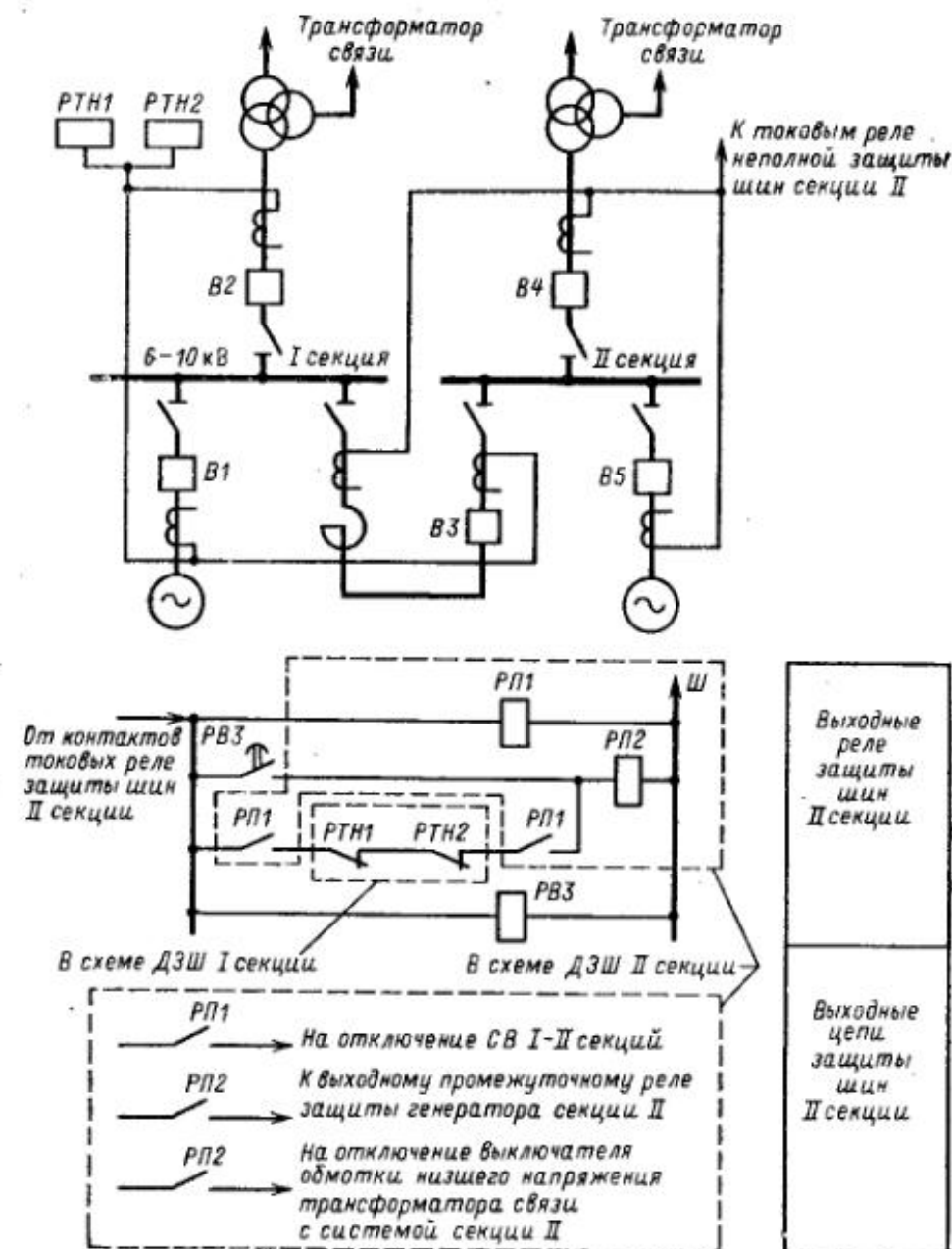


Рис. 8. Схема блокировки защит шин смежных секций:

РТН1, РТН2 — дифференциальные токовые реле защиты шин секции I; РП1, РП2 — выходные промежуточные реле защиты шин секции II; РВЗ — реле времени РВ-114

повреждения находятся вне зоны действия этой защиты (за трансформаторами тока секционного реактора со стороны секции II шин). Отключение поврежденной секции II происходит от защиты шин этой секции без выдержки времени.

Схема защиты двойной системы шин 6 кВ с поэлементным охватом реакторов отходящих линий приведена на

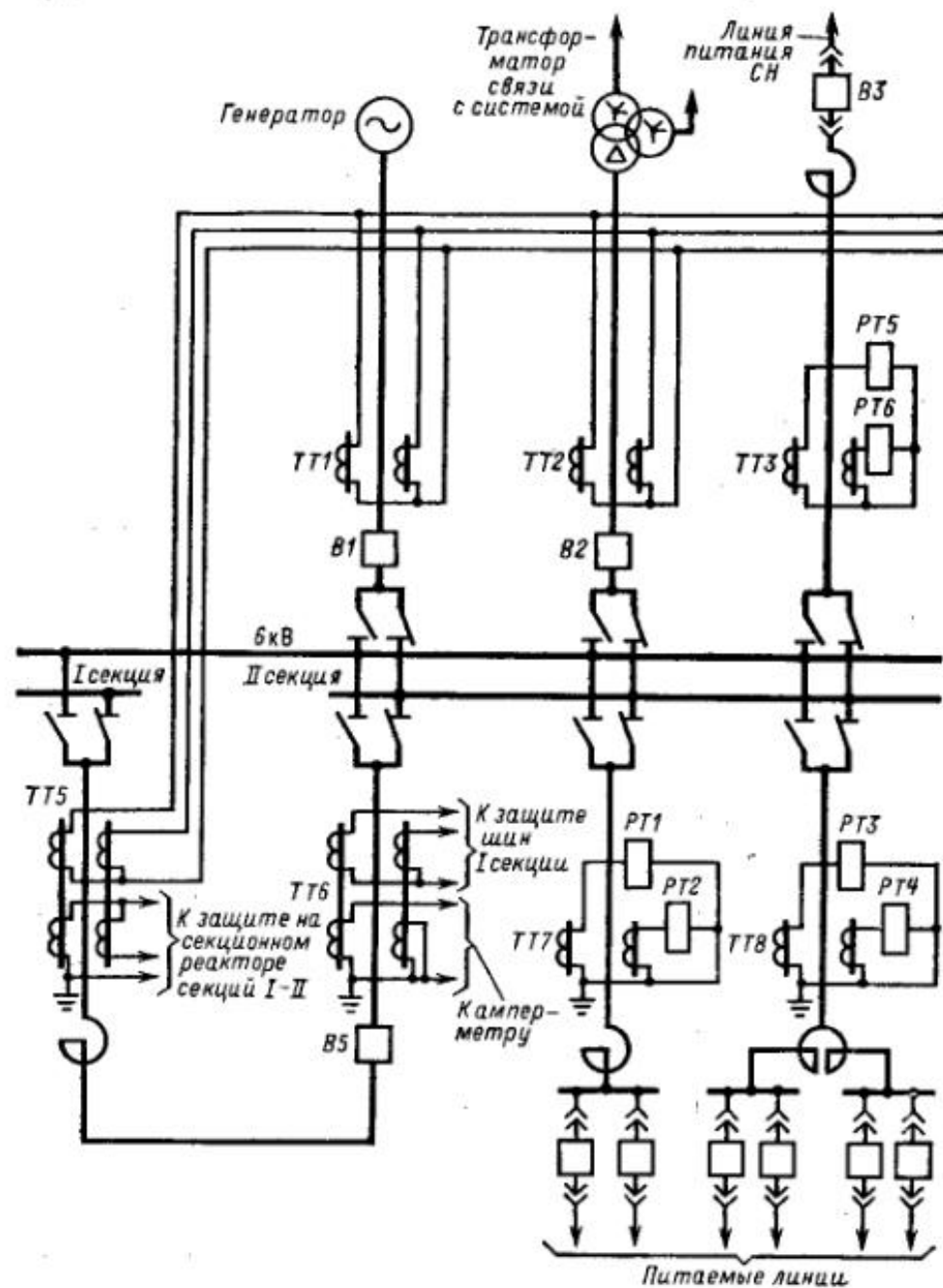


рис. 9. Эта схема дана для нормального режима, когда резервная система шин не используется и, следовательно, шинносоединительный выключатель данной секции отключен.

Для защиты шин от междуфазных КЗ используется неполная дифференциальная токовая защита с реле РТН1 и РТН2 типа РНТ-567 (или РНТ-562), включенными на сумму токов трансформаторов тока фаз А и С, установлен-

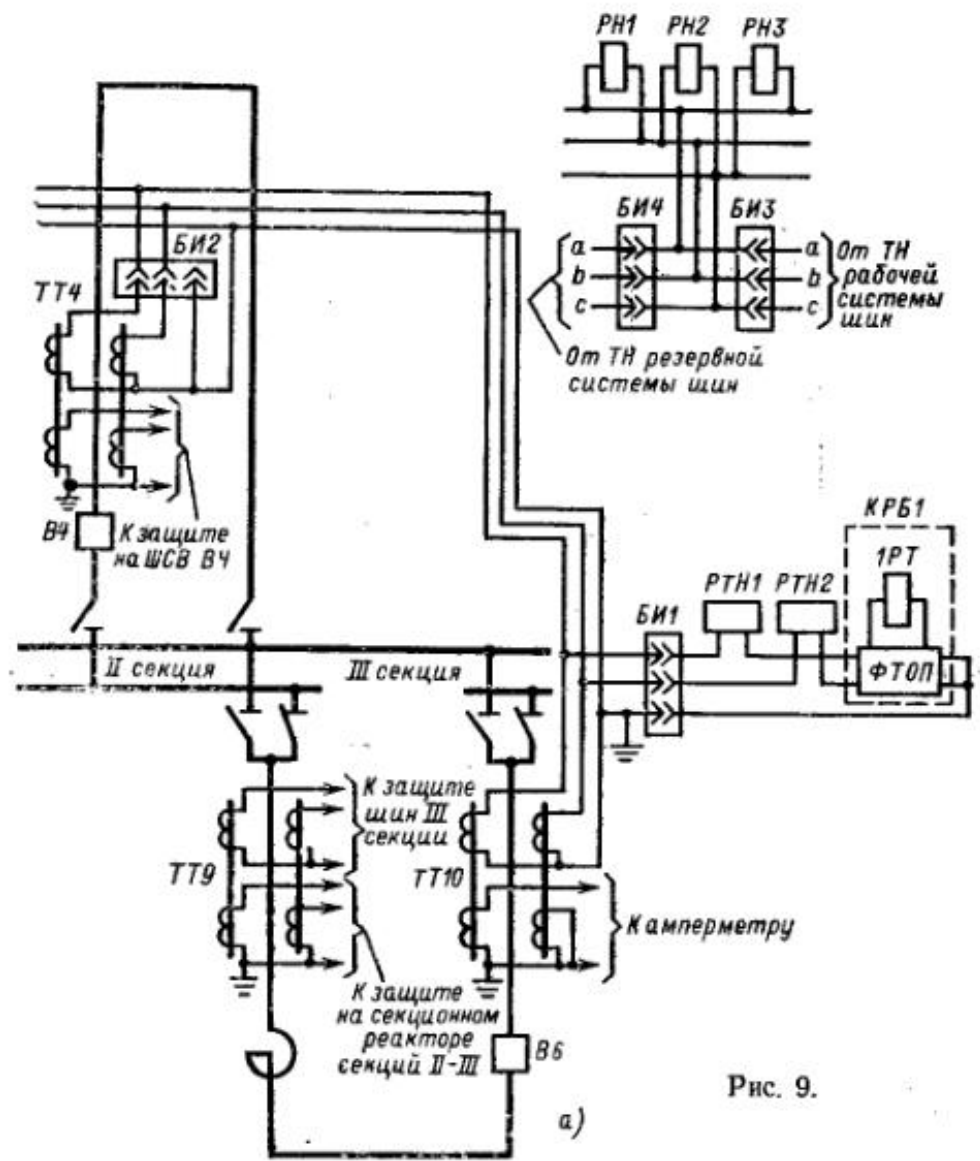


Рис. 9.

ных на питающих элементах данной секции. Защита действует без выдержки времени на отключение питающих элементов: генератора, выключателя 6 кВ трансформатора

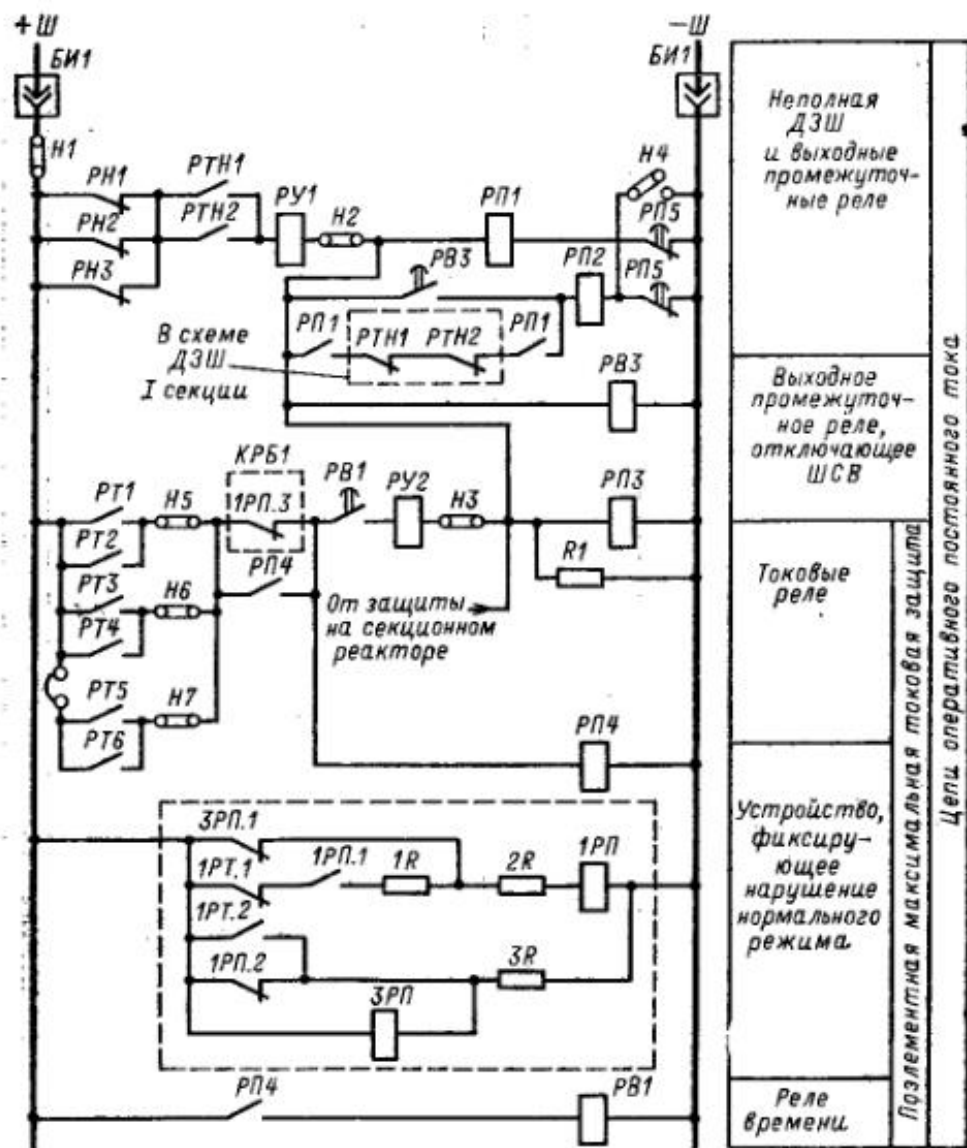
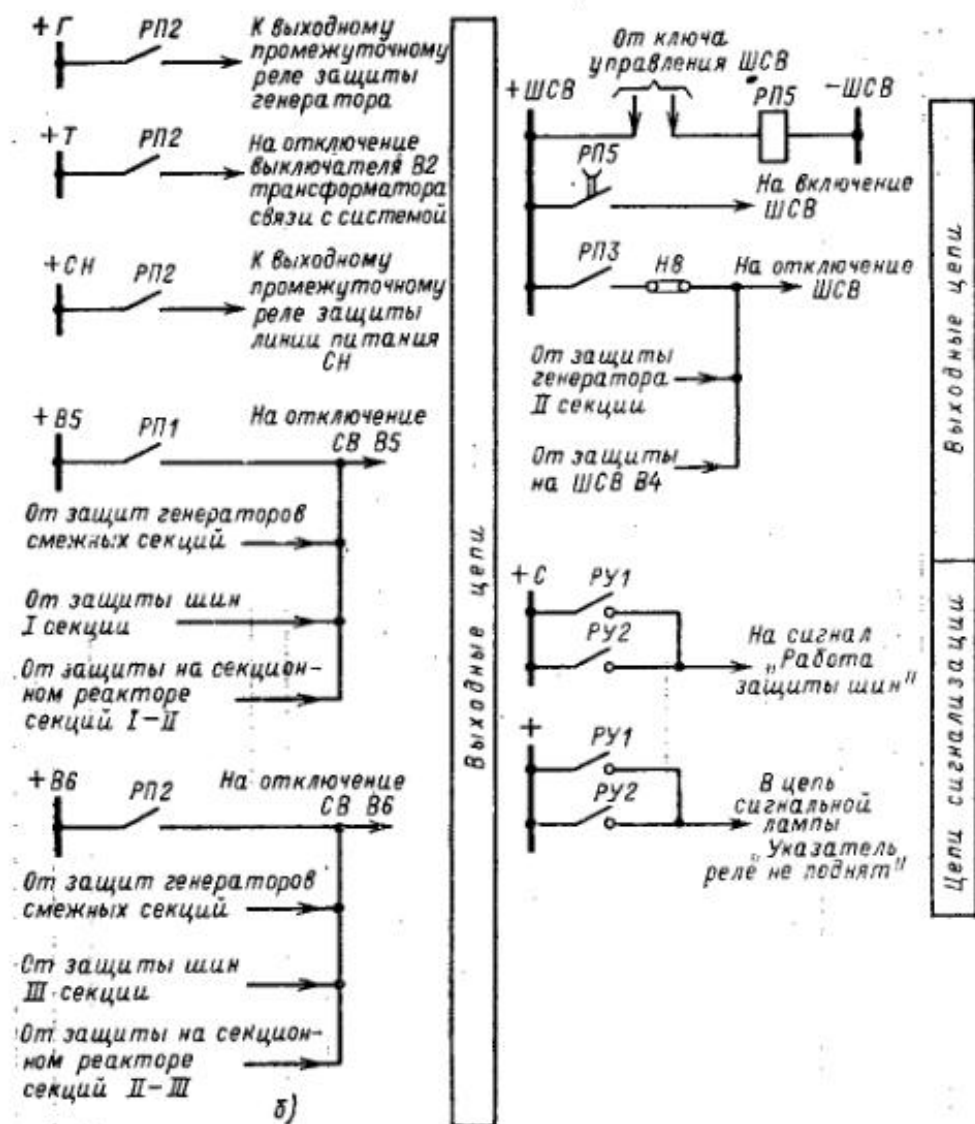


Рис. 9. Схема защиты двойной системы шин 6 кВ с поэлементным охватом — цепи переменного тока; б — цепи постоянного тока;  $RТН1$ ,  $RТН2$  — реле тока;  $RН3$  — реле напряжения РН-54/160;  $KРБ1$  — устройство блокировки при качаниях;  $RП5$  — реле промежуточное РП-252;  $RУ1$ ,  $RУ2$  — реле указательные РУ-21/0,025; ки испытательные БИ-4;  $R1$  — резистор с сопротивлением 4500 Ом типа ПЭВ-50

связи с системой и секционных реакторов. При применении двухобмоточного трансформатора связи с системой защита шин действует на его отключение с обеих сторон.

Для отключения КЗ в реакторах отходящих линий и для резервирования линейных защит используется поэлементная максимальная токовая защита с реле тока типа РТ-40, установленными на фазах А и С каждой отходящей



том реакторов отходящих линий:

ка РНТ-565;  $RТ1$ — $RТ4$  — реле тока РТ-40;  $RТ5$ ,  $RТ6$  — реле тока РТ-40;  $RН1$ — $KРБ-126$ ;  $RВ1$  — реле времени РВ-134;  $RП1$ — $RП4$  — реле промежуточные РП-23;  $H1$ — $H8$  — накладки НКР-3; БИ1 — блок испытательный БИ-6; БИ2—БИ4 — бло-

линии, включая и реактированные линии собственных нужд. Для фиксации появления КЗ на линии, как и в схеме защиты по рис. 7, используется устройство типа КРБ-126.

На ШСВ установлены трансформаторы тока с таким же коэффициентом трансформации, как и у трансформаторов тока питающих элементов. Они нормально отсоединены от схемы токовых цепей дифференциальной защиты

шин при снятой крышке испытательного блока *БИ2*, включенного в цепи трансформаторов тока ШСВ. Эти трансформаторы тока вводятся в схему защиты шин в режимах, когда включен ШСВ для питания элементов, переведенных с рабочей системы шин на резервную, а также когда ШСВ используется для питания потребителей секции *II* от других секций при отключенных на данной секции питающих элементах.

В рассматриваемой схеме защиты шин предусмотрено замедление отключения выключателей питающих элементов при опробовании одной из систем шин подачей напряжения через ШСВ. При замыкании ключом управления цепи включения ШСВ реле *РП5* срабатывает, включает выключатель и одновременно мгновенно размыкает свои контакты, подающие «минус» на обмотку выходных промежуточных реле *РП1* и *РП2*. Реле *РП5* имеет замедление на возврат, которое больше суммы времен действия защиты и отключения ШСВ, что обеспечивает недействие выходных реле *РП1* и *РП2*. Цепь на отключение без выдержки времени ШСВ от защиты шин сохраняется с помощью отдельного промежуточного реле *РП3*, что обеспечивает отключение только ШСВ в случае повреждения на опробуемой системе шин.

Как указано выше, для опробования свободной системы шин подачей напряжения с помощью ШСВ используется не его собственная защита, а защита шин, что более надежно и не требует операций от дежурного персонала. В схеме предусмотрена возможность разрыва цепи на отключение шиносоединительного выключателя от защиты шин с помощью накладки *Н8*. Это требуется при переводе элементов с одной системы шин на другую для предотвращения отключения разъединителем токов повреждения при КЗ на шинах, когда замкнуты оба разъединителя одного из переводимых элементов. Следует отметить, что во время перевода присоединений с одной системы шин на другую трансформаторы тока в цепи ШСВ должны быть зашунтированы с помощью испытательного блока и защита на нем должна быть выведена из действия.

Для сохранения в работе защиты шин во время ремонта ШСВ предусмотрена накладка *Н4*, которую следует замкнуть и шунтировать тем самым контакты *РП5*.

Как и в схеме рис. 7, в цепях поэлементной максимальной токовой защиты установлены накладки *Н5*, *Н6* и *Н7*, позволяющие отсоединить любой комплект реле тока от выходных реле защиты шин. Это требуется при проверке

реле или трансформаторов тока на отключенной линии, а также в случае выделения какой-либо линии на резервную систему шин, когда для защиты переведенной линии используется защита ШСВ. В этом случае трансформаторы тока ШСВ должны быть дешунтированы (вставлена крышка испытательного блока *БИ2*), чтобы повреждения на резервной системе шин и на переведенной линии ликвидировались защитой шиносоединительного выключателя, что сохраняет в работе рабочую систему шин.

Для двойной системы шин генераторного напряжения 10 кВ, когда для питания собственных нужд применяется трансформатор собственных нужд 10/6 кВ, защита шин действует без выдержки времени на отключение питающих элементов и трансформатора собственных нужд, как в схеме рис. 7.

Для исключения недостатка, присущего и приведенной на рис. 7 схеме, а именно возможности одновременного отключения секций *I* и *II* при КЗ между реактором и секционным выключателем (см. описание схемы рис. 7), в рассматриваемую схему рис. 9 внесены изменения, приведенные выше на схеме рис. 8. Это обеспечивает отключение только секционного выключателя, присоединенного к секциям *I* и *II*, и сохраняет в работе питающие элементы секции *II*. Во всем остальном схема этой защиты аналогична схеме, приведенной на рис. 7.

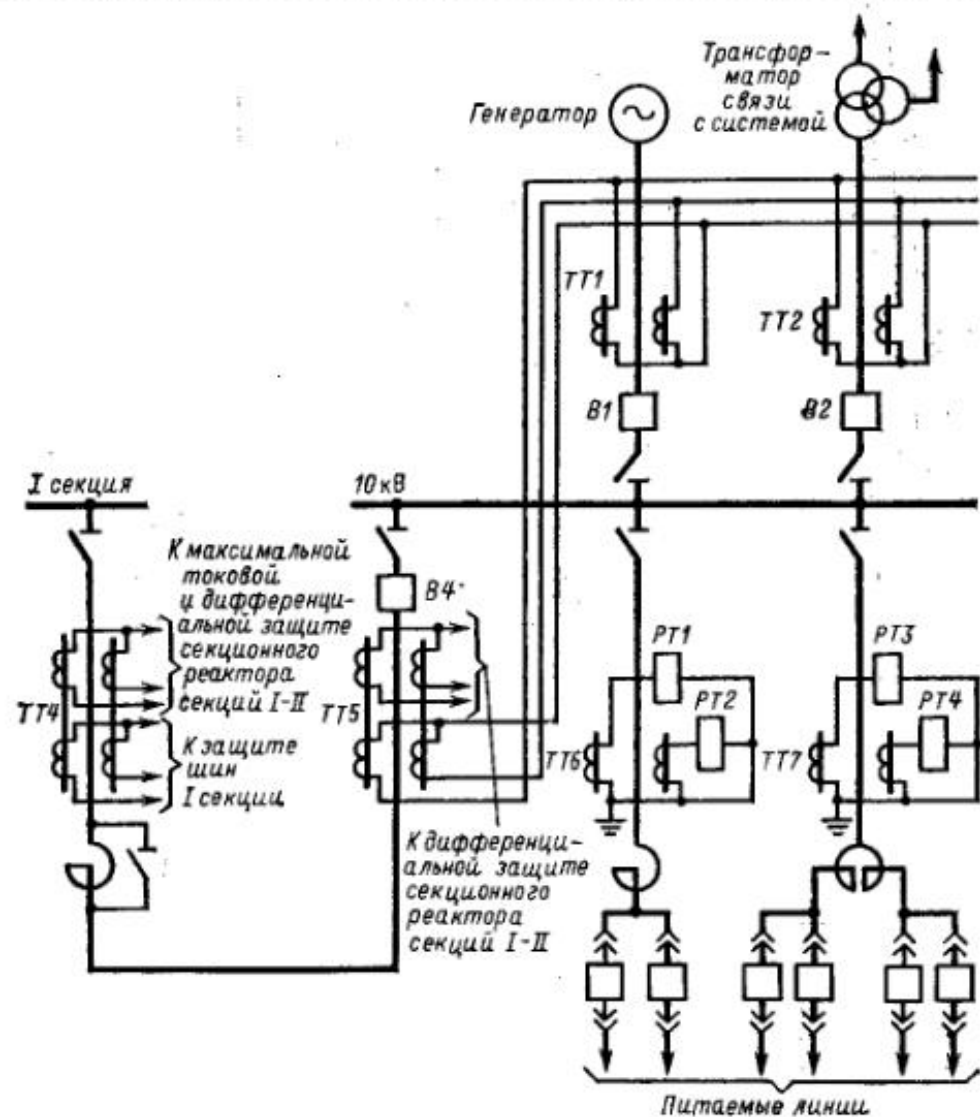
Схема защиты одиночной системы шин 10 кВ с дифференциальной защитой секционного реактора и поэлементным охватом реакторов отходящих линий приведена на рис. 10.

Схема защиты шин каждой секции содержит неполную дифференциальную токовую защиту шин, дифференциальную токовую защиту секционного реактора и поэлементную максимальную токовую защиту отходящих линий 10 кВ.

Неполная дифференциальная токовая защита шин выполняется в виде комбинированной токовой отсечки по току и напряжению. Токовые органы защиты выполнены с помощью дифференциальных реле тока *РТН1* и *РТН2* типа РНТ-567, которые присоединены к трансформаторам тока питающих элементов (генератора, трансформатора связи с системой, секционного реактора, а также трансформатора собственных нужд 10/6 кВ). В качестве пускового органа по напряжению используются три реле *РН1—РН3* минимального напряжения типа РН-54/160, подключенные к трансформатору напряжения секции *II* и реагирующие на

трехфазные и двухфазные КЗ между фазами АВ, ВС и СА. При КЗ на секции II, а также в начальных витках реакторов отходящих линий данная защита срабатывает без выдержки времени, ее выходные реле РП1 и РП2 замыкают цепи на отключение генератора, трансформатора связи и секционных выключателей, связывающих секцию II с двумя смежными секциями, чем и ликвидируется КЗ на этой секции. Кроме того, от данной защиты отключается и трансформатор собственных нужд, при этом происходит включение резервного трансформатора от устройства АВР.

Дифференциальная токовая защита секционного реактора выполняется с помощью дифференциальных реле тока РТН3 и РТН4 типа РНТ-565, действующих при повреждениях в реакторе на выходные промежуточные реле РП1 и



РП2 неполной дифференциальной токовой защиты шин секции II. Эта защита не срабатывает при повреждениях на шинах секций, поскольку эти повреждения находятся вне зоны ее действия, но секционный выключатель, как указано выше, отключается от защиты поврежденных секций шин 6—10 кВ.

Поэлементная максимальная токовая защита, предназначенная для отключения повреждений в реакторах линий и для резервирования их защит, выполняется с помощью реле тока типа РТ-40, устанавливаемых на трансформаторах тока фаз А и С на каждой линии до реактора. Для

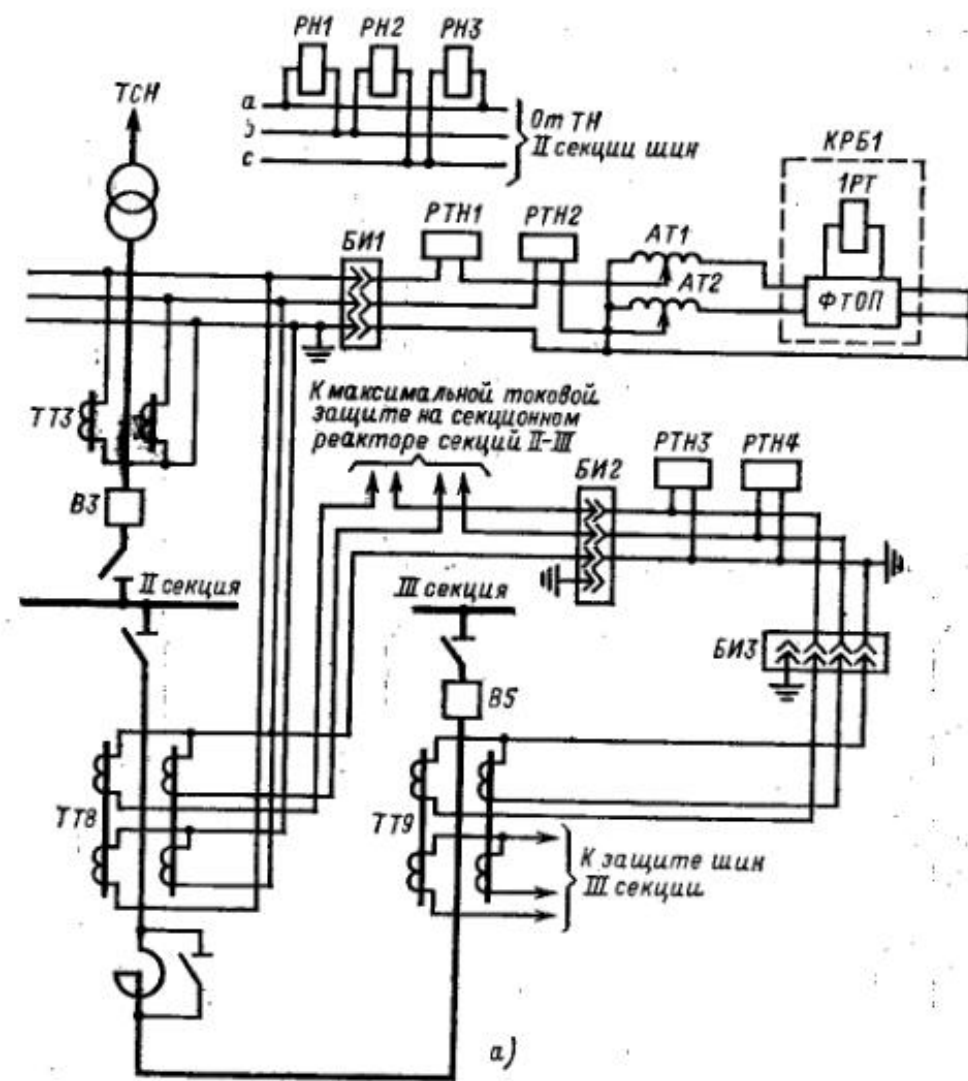


Рис. 10.



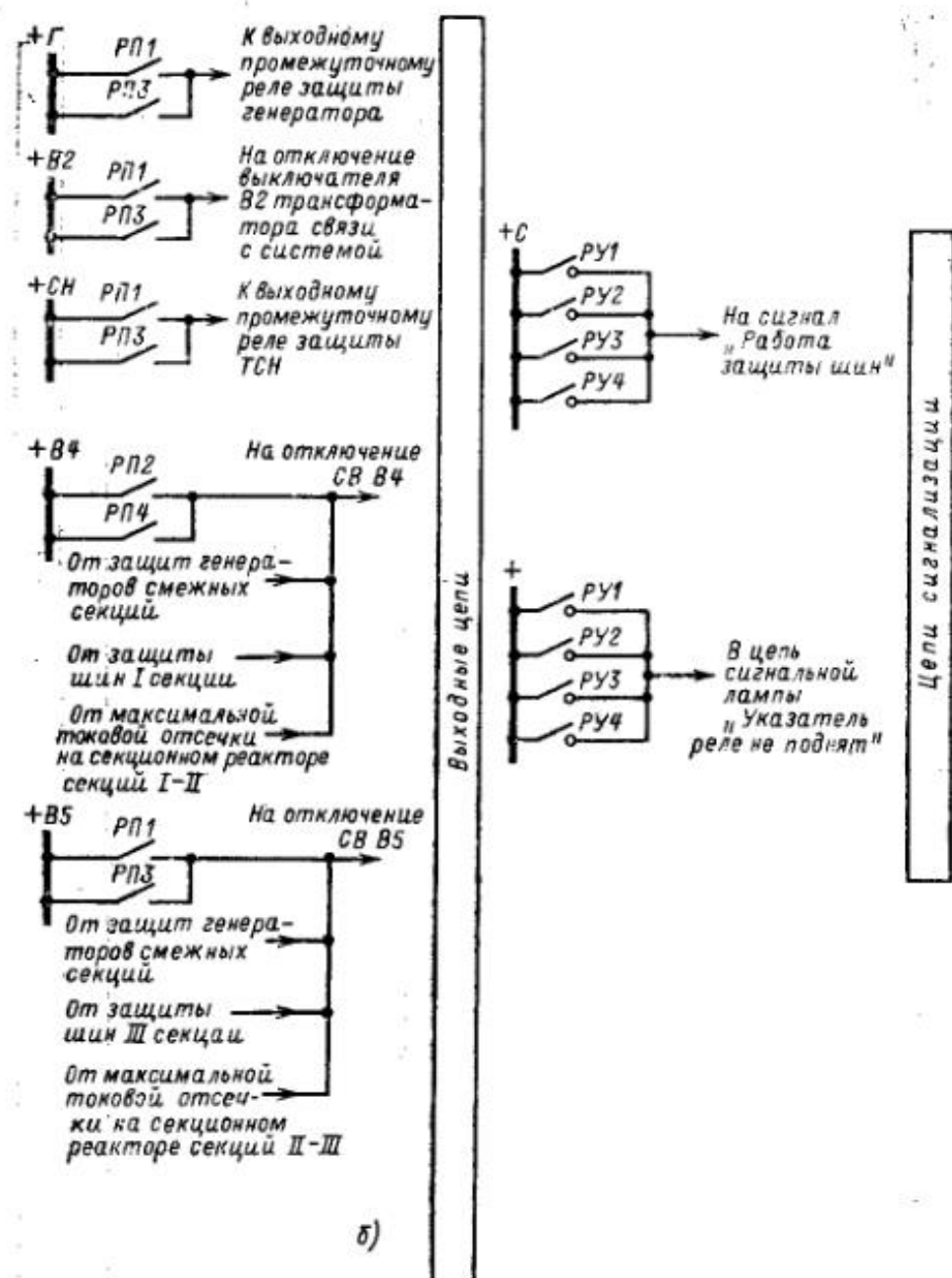
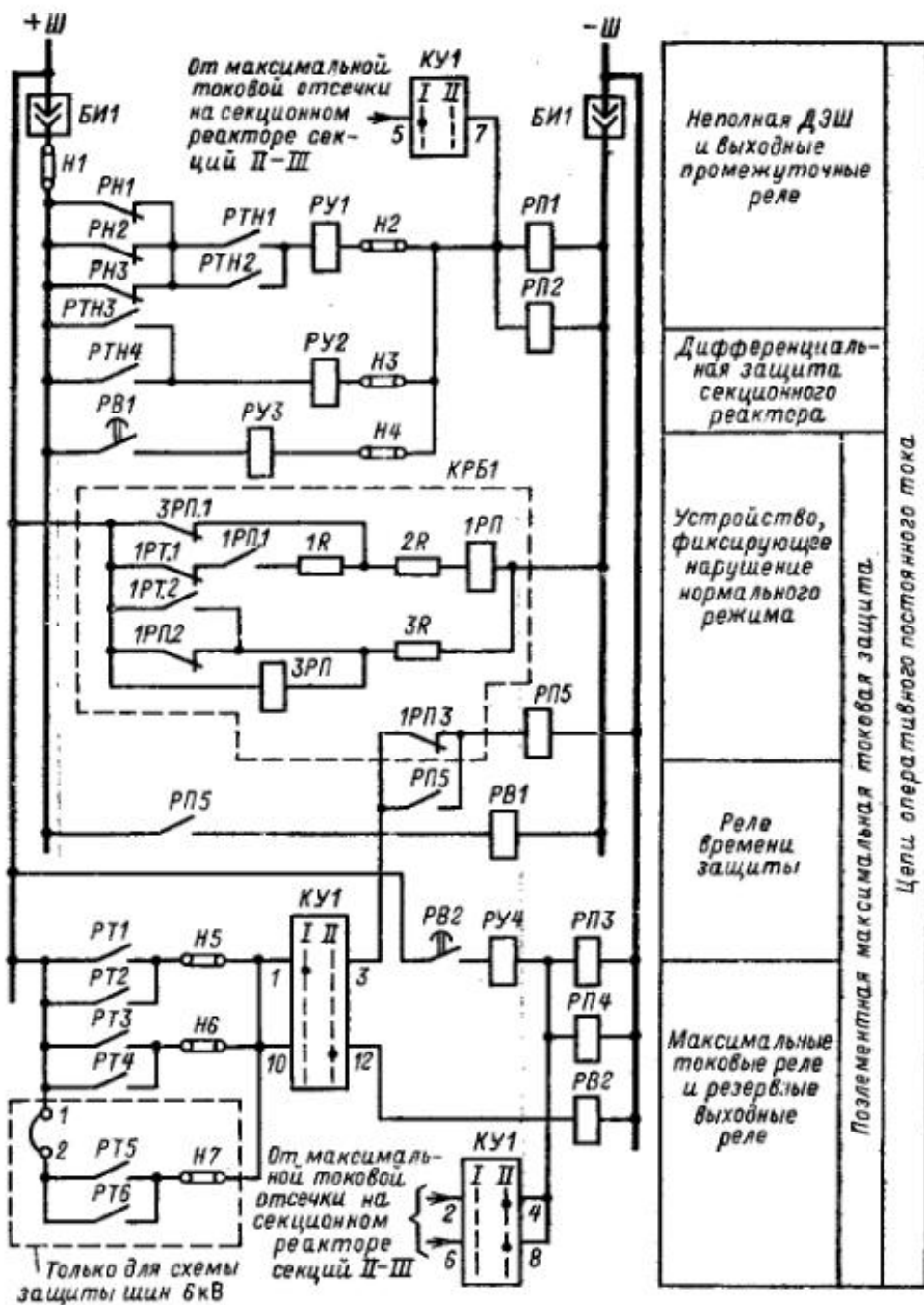


Рис. 10. Схема защиты одиночной системы шин 10 кВ с дифференци-реакторов отходящих линий:

а — цепи переменного тока; б — цепи постоянного тока; РТН1, РТН2 — реле тока РНТ-567; РТН3, РТН4 — реле тока РНТ-565; РТ1—РТ4 — реле тока РТ-40; РН1—РН3 — реле напряжения РН-54/160; КРБ1 — устройство блокировки при качаниях РП-23; РУ1—РУ4 — реле указательные РУ-21/0,025; Н1—Н7 — накладки НКР-3; АТ2 — автотрансформаторы АТ-32-У3; КУ1 — переключатель малогабаритный

альной токовой защитой секционного реактора и поэлементным охватом

РТН-567; РТН3, РТН4 — реле тока РНТ-565; РТ1—РТ4 — реле тока РТ-40; РН1—РН3 — реле напряжения РН-54/160; КРБ-126; РВ1, РВ2 — реле времени РВ-134; РП1—РП5 — реле промежуточные РП-23; РУ1—РУ4 — реле указательные РУ-21/0,025; Н1—Н7 — накладки НКР-3; АТ2 — автотрансформаторы АТ-32-У3; КУ1 — переключатель малогабаритный

фиксации появления короткого замыкания в защите предусмотрено устройство типа КРБ-126. Как указано выше, данное устройство блокирует защиту в нормальном режиме и вводит ее в действие при КЗ на время порядка 0,35—0,4 с.

В схеме поэлементной максимальной токовой защиты предусмотрено промежуточное реле РП5, которое при КЗ на отходящей линии срабатывает от какого-либо реле РТ1—РТ6 и устройства КРБ-126 и остается в этом состоянии после возврата устройства КРБ-126 в исходное положение благодаря самоудерживанию с помощью своего замыкающего контакта до тех пор, пока данная защита с соответствующей выдержкой времени не отключит через выходные промежуточные реле защиты шин все питающие элементы.

Схема защиты шин, приведенная на рис. 10, выполнена таким образом, что при снятии крышек испытательных блоков БИ1, БИ2 и БИ3 на время проверки защиты шин и защиты секционного реактора выводится также из действия устройство КРБ-126. Постоянный ток при этом не снимается с поэлементной максимальной токовой защиты, которая должна в этом режиме оставаться в работе для отключения повреждения в реакторах линий и для резервирования защит отходящих линий при повреждениях на них. Для этой цели в схеме защиты предусмотрен переключатель КУ1, который обеспечивает перевод действия поэлементной защиты через реле времени РВ2 и промежуточные реле РП3 и РП4. В этом кратковременном режиме допускается работа защиты без комплекта блокировки КРБ-126, т.е. без дополнительного контроля наличия повреждений на линии.

С помощью переключателя КУ1 обеспечивается замыкание цепи срабатывания выходных реле защиты шин РП1 и РП2 от максимальной токовой защиты, установленной на секционном реакторе секций II—III. Это необходимо для отключения питающих элементов секции II в случае КЗ между трансформаторами тока и выключателем секционного реактора, так как на данное повреждение дифференциальная токовая защита секционного реактора не реагирует, поскольку оно вне зоны ее действия (за трансформаторами тока со стороны секции III шин 10 кВ). При указанном повреждении срабатывает защита шин секции III и отключает выключатели всех питающих элементов, присоединенных к этой секции, включая и секционный реактор, связывающий секции II и III. После отключения вы-

ключателя этого секционного реактора автоматически вводится в действие его максимальная токовая защита, которая через контакты переключателя КУ1 замыкает цепь выходных реле защиты шин секции II. Таким образом, при этом виде КЗ обесточиваются обе секции шин II и III 10 кВ. Однако такое повреждение происходит чрезвычайно редко. Данная схема пригодна и для сборных шин 6 кВ, на которых, как указывалось выше, питание потребителей собственных нужд электростанции осуществляется от реактированных линий 6 кВ. По аналогии с отходящими потребителскими линиями 6 кВ ликвидация коротких замыканий до реактора на линии собственных нужд производится неполной дифференциальной защитой шин, действующей на отключение питающих элементов секции. Короткие замыкания в реакторе ликвидируются, как и на других отходящих линиях, поэлементной токовой защитой через выходные реле защиты шин, действующие на отключение всех питающих элементов.

В цепях контактов токовых реле реактированной линии собственных нужд предусмотрены разъемные зажимы 1, 2 (см. рис. 10), к которым могут подключаться цепи пуска минимального напряжения, если максимальная токовая защита этой линии выполнена с пуском по напряжению по условию отстройки от тока самозапуска электродвигателей собственных нужд. Токовая защита линии собственных нужд также контролируется контактом реле РП3 устройства КРБ-126.

Для вывода из действия неполной дифференциальной токовой защиты шин, дифференциальной защиты секционного реактора и поэлементной максимальной токовой защиты используются соответственно накладки Н2—Н4.

В схеме предусмотрены накладки Н5—Н7 в цепях контактов токовых реле поэлементной максимальной токовой защиты реактированных линий, используемые при проверке реле или трансформаторов тока на отключенной линии.

В токовых цепях неполной дифференциальной токовой защиты шин установлены понижающие автотрансформаторы тока АТ1 и АТ2 типа АТ-32-У3 (обычно они применяются в схеме дифференциальной защиты трансформаторов и автотрансформаторов типа ДЗТ-20), которые используются для обеспечения термической стойкости устройства КРБ-126, рассчитанного на номинальный ток 5 А. Необходимость их установки определяется расчетом. При отсутствии автотрансформатора АТ-32-У3 можно в каждой фазе использовать два трансформатора тока типа ТК-120,

15/5. Первичные обмотки этих трансформаторов тока должны включаться последовательно, а вторичные обмотки — параллельно (что соответствует коэффициенту трансформации  $K_I = 7,5/5$ ).

Следует отметить, что в схеме соединений КРБ-126 указаны только элементы, используемые в защите шин 6—10 кВ. При выводе для проверки исполной дифференциальной защиты шин секции снимаются крышки испытательных блоков БИ1, БИ2 и БИ3. При этом выводятся из действия также дифференциальная защита секционного реактора, блокировка КРБ-126 и выходные реле защиты шин. Оставшаяся в работе поэлементная токовая защита переводится с помощью переключателя КУ1, устанавливаемого в положение II, на резервные выходные реле РП3 и РП4, находящиеся в действие при срабатывании реле времени РВ2 и действующие на отключение питающих элементов. Кроме того, на секционном реакторе, на котором выведена дифференциальная токовая защита, вводится максимальная токовая отсечка с действием на отключение секционного выключателя и на резервные выходные реле (РП3 и РП4) поэлементной токовой защиты. Схема защиты шин секций I и III выполняется аналогично схеме защиты шин секции II.

Схема защиты двойной системы шин 10 кВ с дифференциальной токовой защитой секционного реактора и поэлементным охватом реакторов отходящих линий приведена на рис. 11. Она содержит неполную дифференциальную токовую защиту шин, дифференциальную токовую защиту секционного реактора, поэлементную токовую защиту для отходящих линий 10 кВ.

Для неполной дифференциальной токовой защиты шин, выполненной в виде комбинированной отсечки по току и напряжению, используются реле тока РТН1 и РТН2 типа РНТ-567, подключенные к трансформаторам тока питающих элементов и трансформатора собственных нужд 10/6 кВ. К ним можно также подключить трансформаторы тока, установленные на ШСВ. Неполная дифференциальная токовая защита шин при междуфазных КЗ на шинах 10 кВ действует без выдержки времени через выходные промежуточные реле РП1, РП2 на отключение питающих элементов и трансформатора собственных нужд, присоединенных к секции II шин, а также на отключение секционных выключателей В4 и В5 для отделения неповрежденных секций I и III, питающих место короткого замыкания, от поврежденной секции II.

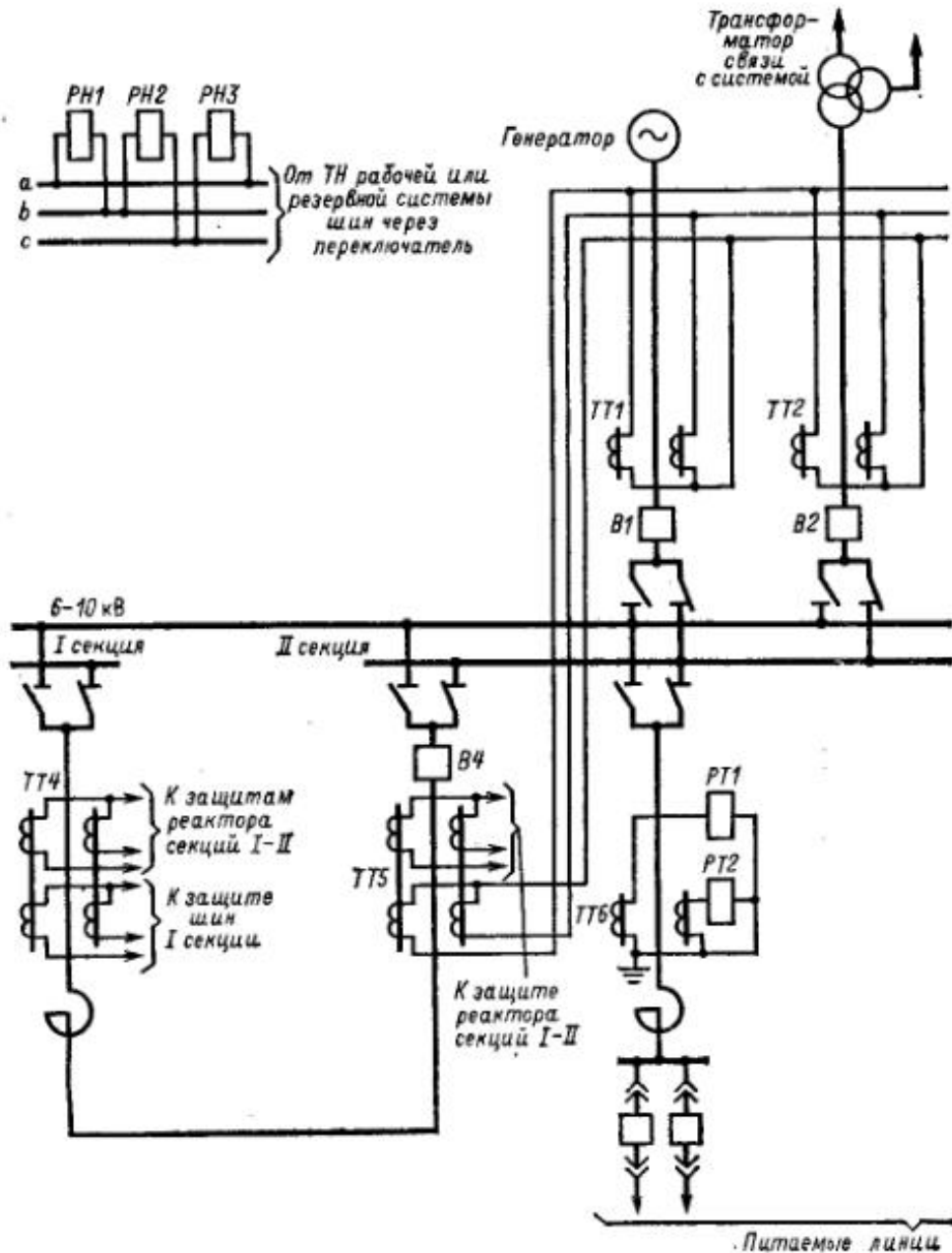
Дифференциальная токовая защита секционного реактора II—III секций, выполненная на реле тока РНТ-565, срабатывает при повреждениях в реакторе или на ошиновке между реактором и трансформаторами тока данной защиты и действует на те же выходные реле защиты шин II секции РП1 и РП2. Таким образом, при повреждениях в секционном реакторе II—III в работе остаются секции I и III, которые отделяются от места КЗ после отключения выключателей В4 и В5.

Следует отметить, что неполная дифференциальная токовая защита шин секций II и III при повреждениях в реакторе не срабатывает, так как эти повреждения находятся вне зоны действия этих защит (за трансформаторами тока, установленными на реакторе для участия в схеме этих защит). При коротком замыкании между секционным выключателем В5 и трансформатором тока ТТ9 дифференциальная защита секционного реактора не срабатывает (повреждение вне зоны действия этой защиты), но срабатывает неполная дифференциальная защита секции III, которая обесточивает секцию III. Также обесточивается и секция II от действия максимальной токовой защиты секционного реактора, которая вводится автоматически после отключения секционного выключателя II—III от защиты шин секции III и действует через переключатель КУ1 на выходные реле РП1 и РП2 защиты секции II. Таким образом, при коротком замыкании между выключателем В5 и трансформаторами тока происходит отключение обеих секций.

Поэлементная максимальная токовая защита отходящих линий 10 кВ выполнена, как и на рис. 10, с помощью двух реле тока типа РТ-40, подключаемых к трансформаторам тока фаз А и С на каждой линии до реактора. В нормальном режиме, когда защиты шин и секционного реактора введены в действие, поэлементная максимальная токовая защита действует через контакт промежуточного реле РП5, срабатывающего от устройства КРБ-126, на реле времени РВ1, которое с заданной выдержкой времени, превышающей на ступень выдержку времени защит отходящих линий, действует на выходные реле РП1 и РП2 неполной дифференциальной токовой защиты шин. Для вывода в ревизию дифференциальной токовой защиты шин необходимо снять крышки на испытательных блоках БИ1—БИ3 (как и в устройстве по рис. 10).

В этом режиме поэлементная максимальная токовая защита должна оставаться в работе для отключения повреждений в реакторе линии и для резервирования защит

отходящих линий. Поэтому постоянный ток на эту защиту подается не через испытательный блок БИ1, а непосредственно от шин постоянного тока +ш и -ш с использованием переключателя КУ1. В нормальном режиме у переключателя КУ1 замкнуты контакты 1 и 3, и при срабатывании реле тока на какой-либо отходящей линии приходят в действие после срабатывания реле времени выходные промежуточные реле РП1 и РП2 защиты шин, действующие на отключение питающих элементов данной секции.



При выводе в ревизию неполной дифференциальной токовой защиты шин переключатель КУ1 устанавливается в положение II. При этом замыкаются его контакты 10 и 12 и в случае срабатывания поэлементной максимальной токовой защиты при повреждении на каком-либо реакторе линий срабатывают реле времени РВ2, затем реле РП3 и РП4, через контакты которых отключаются все питающие элементы. При установке переключателя КУ1 в положение II также выводится из действия блокирующее реле 1РП

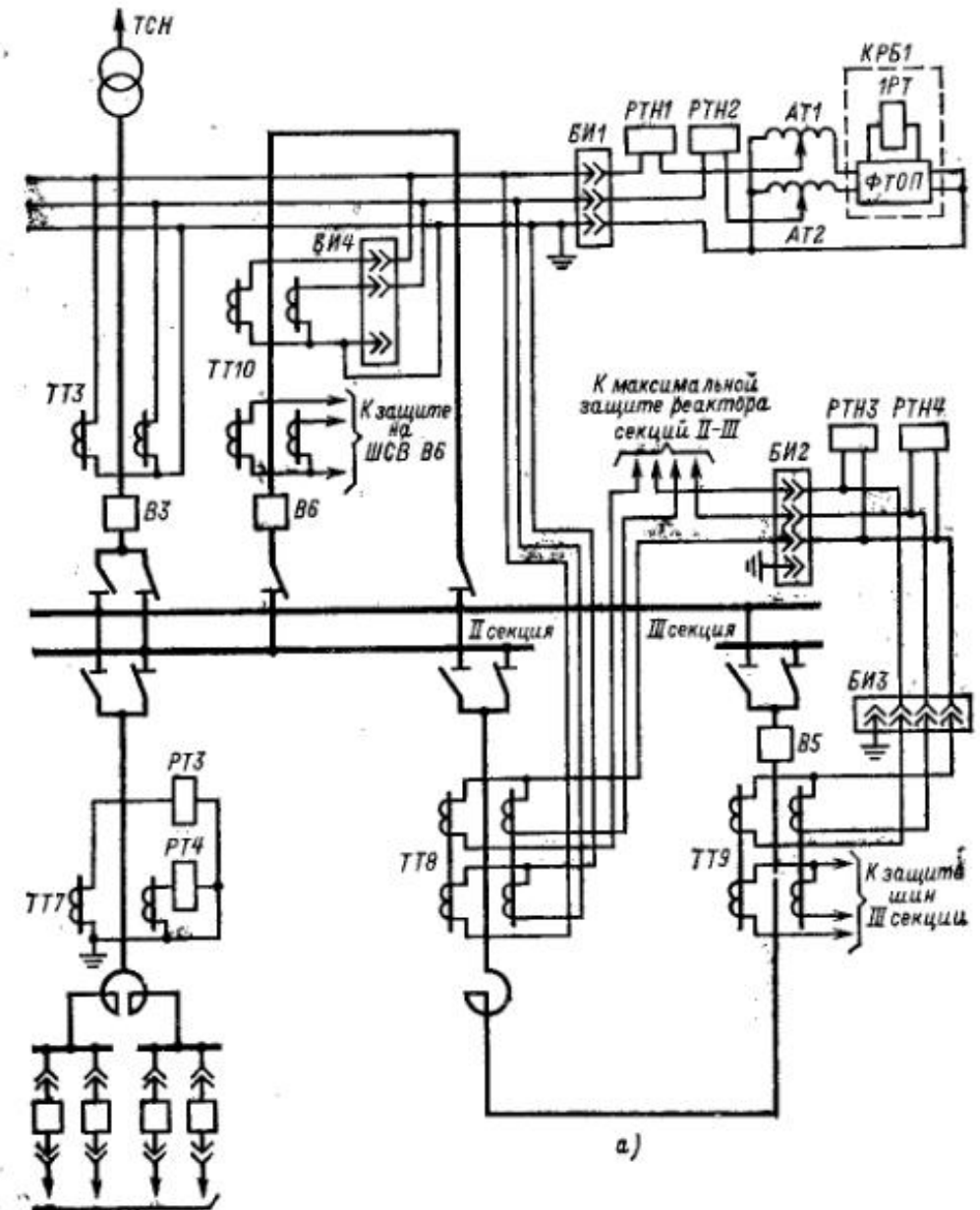


Рис. 11.

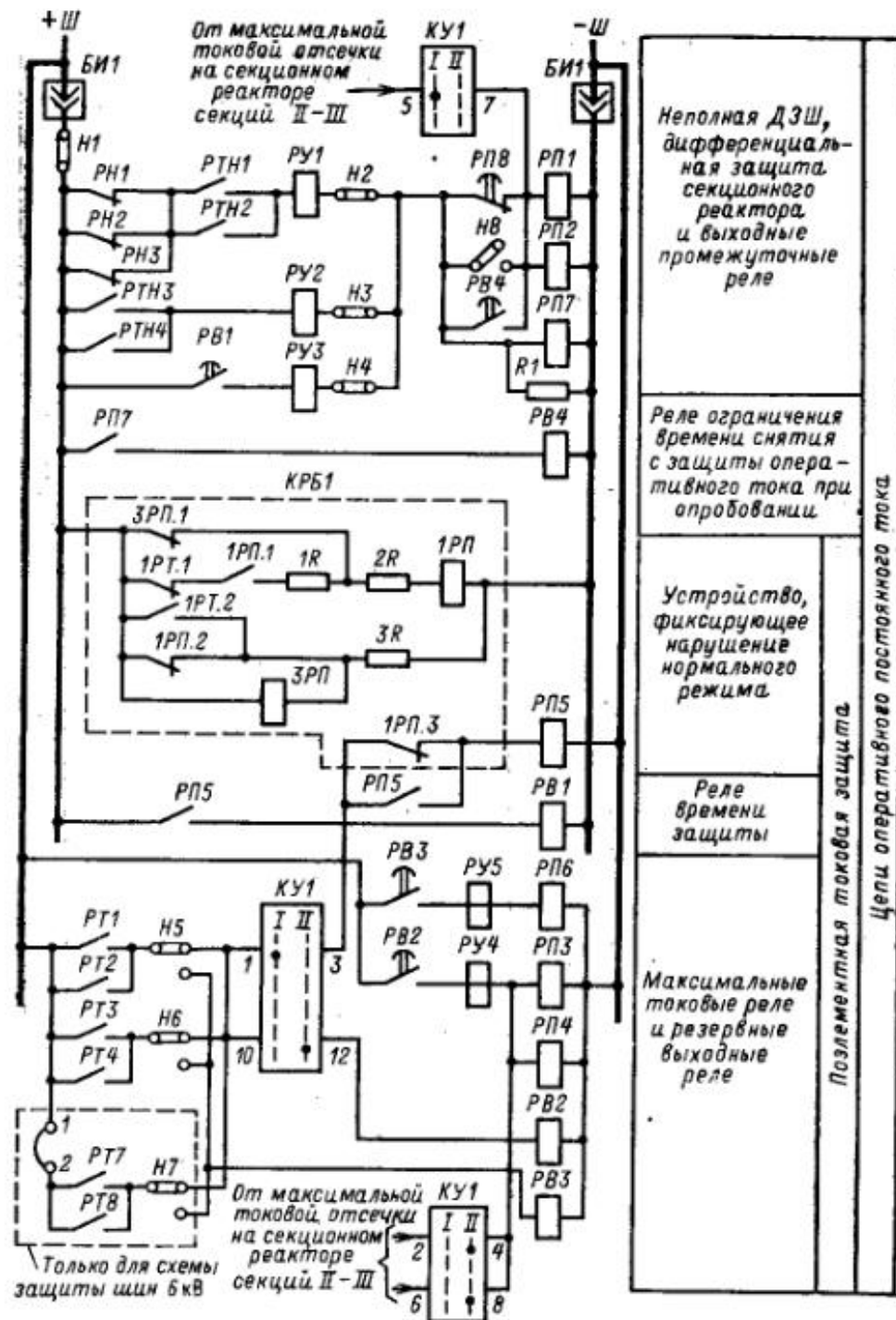
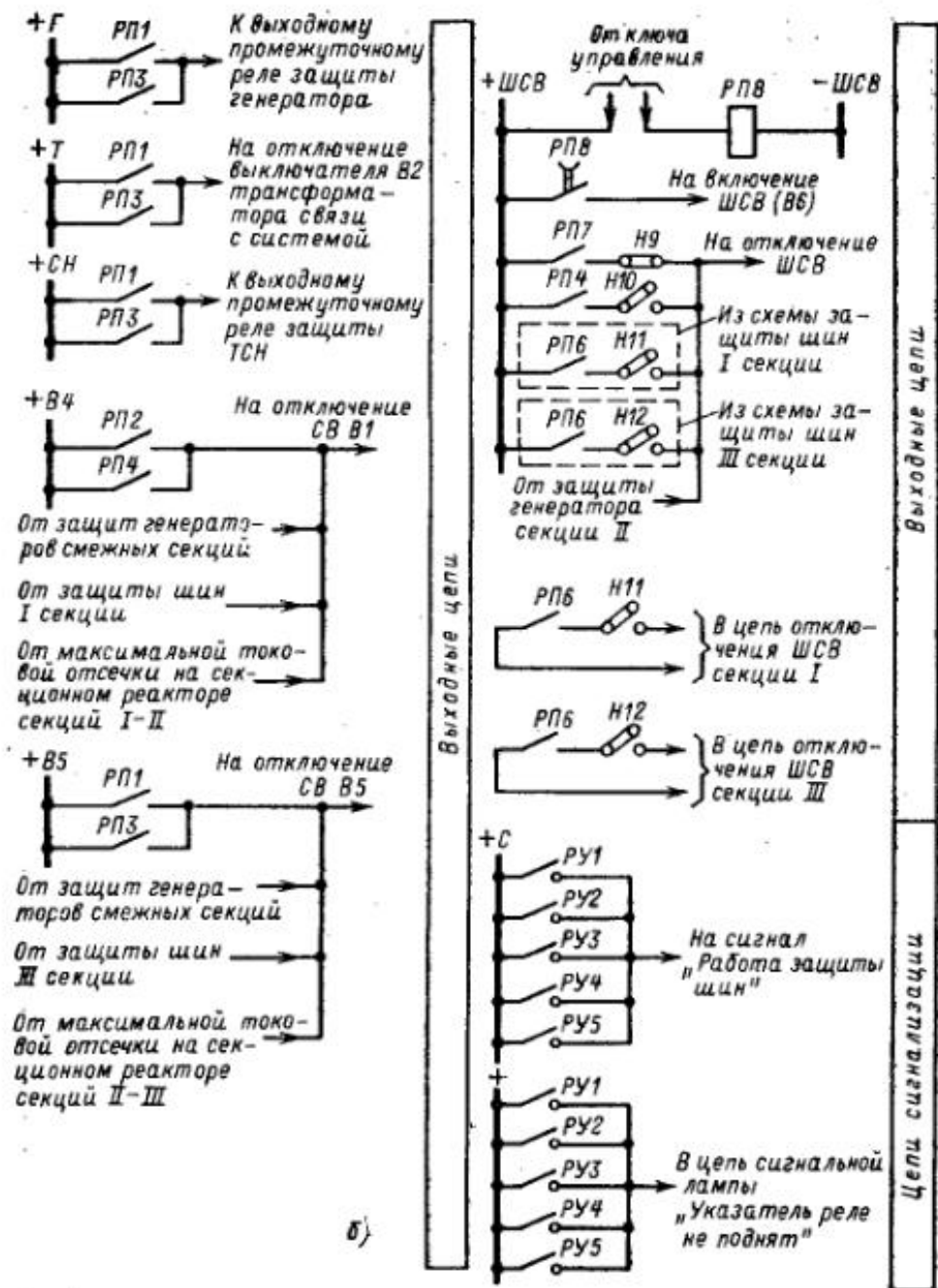


Рис. 11. Схема защиты двойной системы шин 10 кВ с дифференциальной защитой секционного реактора отходящих линий:

а — цепи переменного тока; б — цепи постоянного тока; РТН1, РТН2 — реле тока РНТ-567; РТН3, РТН4 — реле тока РНТ-565; РТ1—РТ4 — реле тока РТ-40; РН1—РН3 — реле напряжения РН-54/160; КРБ1 — устройство блокировки при качаниях РП3 — реле промежуточные РП-23; РП8 — реле промежуточное РП-252; РУ1 — реле указательное РУ-21/0,015; Н1, Н2 — накладки НКР-3; БИ1 — блок испытательных форматов АТ-32-У3; КУ1 — переключатель малогабаритный ПМОФ90-11111/Д42;



ной токовой защитой секционного реактора и поэлементным охватом

РНТ-567; РТН3, РТН4 — реле тока РНТ-565; РТ1—РТ4 — реле тока РТ-40; РН1—РН3 — реле напряжения РН-54/160; КРБ1 — устройство блокировки при качаниях РП3 — реле промежуточные РП-23; РП8 — реле промежуточное РП-252; РУ1 — реле указательное РУ-21/0,015; Н1, Н2 — накладки НКР-3; БИ1 — блок испытательных форматов АТ-32-У3; КУ1 — переключатель малогабаритный ПМОФ90-11111/Д42; РП1—РП4 — реле максимальной токовой защиты РП-252; РП5 — реле времени РП-134; РП6 — реле времени РП-113; РП7 — реле времени РП-113; РП8 — реле времени РП-113; РУ1—РУ5 — реле указательные РУ-21/0,015; РУ4 — реле указательное РУ-21/0,025; РУ5 — реле указательное РУ-21/0,025; Р1 — резистор с сопротивлением 4500 Ом типа ПЭВ-50

устройства КРБ-126, так как в связи с кратковременностью режима проверки защиты шин признано возможным не контролировать наличие повреждения для поэлементной токовой защиты, которая остается в работе при проверке дифференциальных защит шин и секционного реактора.

На секционном выключателе, на котором выведена из действия дифференциальная токовая защита при проверке защиты шин, должна вводиться включением накладки максимальная токовая отсечка с действием на отключение секционного выключателя и на срабатывание резервных выходных реле РПЗ и РП4 поэлементной токовой защиты, которые производят отключение источников питания при коротком замыкании на секции с выведенной защитой шин.

При переводе части питаемых элементов данной секции (II) на резервную систему шин с питанием их от другой секции (I или III) защита резервной системы осуществляется защитой шин питающей секции (I или III), так как трансформаторы тока используемого шинносоединительного выключателя в этом режиме, как и в нормальном режиме, не должны участвовать в схеме защиты шин — они шунтируются соответствующим испытательным блоком БИ4.

Поэлементная максимальная токовая защита на присоединениях, переведенных на резервную систему шин, переключается с помощью накладок на отдельное реле времени РВЗ, которое с необходимой выдержкой времени замыкает цепь обмотки промежуточного реле РПб. От этого реле отключается соответствующий ШСВ секции I или III, включенный на резервную систему шин, чем ликвидируется КЗ на поврежденной питаемой линии и сохраняется нормальная работа соответствующей рабочей секции, которая питала место КЗ на линии.

В этом режиме поэлементная защита на линиях, переведенных на резервную систему шин, работает без устройства КРБ-126, что считается допустимым, так как ошибки могут привести только к отключению используемого ШСВ с сохранением в работе питающих элементов на рабочей системе шин.

При отключении источников питания на данной секции II и питании нагрузки этой секции от других секций через включенные секционные реакторы для защиты секции используются те же защиты, что и в нормальном режиме. Однако дополнительно вводится в работу установкой в положение II переключателя КУ1 максимальная токовая отсечка на указанных секционных выключателях с действием только на отключение этих секционных выключателей, что

необходимо в связи с возможностью отказа защиты шин ввиду недостаточной ее чувствительности при КЗ на данной секции, а максимальная токовая защита с пуском напряжения, установленная на генераторах смежных секций, может оказаться нечувствительной и не произведет отключение секционных выключателей.

При опробовании одной из систем шин подачей напряжения с помощью ШСВ трансформаторы тока в цепи этого выключателя, используемые в защите шин, не должны подключаться к ней, а должны быть зашунтированы (крышка испытательного блока БИ4 должна быть снята). Кроме того, защита на самом ШСВ должна быть выведена из действия.

При включении ШСВ от ключа управления срабатывает промежуточное реле РП8, и его размыкающий контакт выводит из действия выходные промежуточные реле РП1 и РП2 защиты шин. При включении в режиме опробования ШСВ на поврежденную систему шин он отключается без выдержки времени от промежуточного реле РП7, которое приходит в действие при срабатывании защиты шин. Это же реле пускает реле времени РВ4, контакт которого шунтирует контакт реле РП8, размыкающийся при опробовании резервной системы шин, что обеспечивает действие в этом режиме защиты шин (через РП1 и РП2) при возникновении повреждений на рабочей системе шин.

В схеме защиты предусмотрена накладка Н9, с помощью которой можно вывести из действия на отключение ШСВ защиту шин. Это необходимо во время перевода элементов с одной системы шин на другую для предотвращения отключения разъединителем тока повреждения при КЗ на шинах в то время, когда замкнуты оба разъединителя одного из переводимых элементов. Следует отметить, что во время перевода элементов с одной системы шин на другую при включенном ШСВ его трансформаторы тока, участвующие в схеме защиты шин, должны быть зашунтированы испытательным блоком, а максимальная токовая защита, установленная на нем, выведена из действия.

Для предотвращения длительного выведения из действия защиты шин при ремонте ШСВ (при многократных опробованиях его) предназначена накладка Н8, которая должна быть замкнута для шунтирования контакта реле РП8 в цепи выходных реле защиты шин.

В схеме защиты предусмотрена возможность перевода действия отдельных комплектов поэлементной токовой защиты на дополнительное выходное промежуточное реле

*РП6*. Такой перевод используется, как указано выше, при питании части отходящих линий данной секции от питающих элементов другой секции через включенный ШСВ этой секции, связывающий ее с резервной системой шин, на которую переводится часть отходящих линий, присоединенных к секции II. В этом режиме следует замкнуть накладку *Н11* (или *Н12*) в цепи отключения соответствующего шиносоединительного выключателя от реле *РП6*.

Данная схема защиты относится к сборным шинам 10 кВ, от которых питаются трансформаторы собственных нужд 10/6 кВ. Эта же схема пригодна и для сборных шин 6 кВ, к которым вместо трансформаторов собственных нужд присоединены реактированные линии собственных нужд. На этих линиях устанавливается поэлементная максимальная токовая защита, выполненная аналогично подобной защите, применяемой для отходящих потребительских линий 6 кВ. Так же как в схеме защиты на рис. 10, для резервной линии собственных нужд в цепи контактов реле тока предусмотрены зажимы 1 и 2, к которым возможно при необходимости подключение пуска по напряжению.

Питание реле напряжения от трансформаторов напряжения рабочей или резервной системы шин через соответствующий переключатель, а также сигнализация исчезновения напряжения выполняются в соответствии с принципиальными схемами вторичных цепей трансформаторов напряжения.

**Схема защиты шиной 10 кВ с дифференциальной токовой защитой секционного реактора в исполнении для фиксированного распределения присоединений** приведена на рис. 12.

Как указано выше (§ 2), в целях повышения надежности электроснабжения собственных нужд для одной из секций шин 10 кВ принимается постоянное питание присоединений этой секции от рабочей и резервной систем шин с включенным ШСВ данной секции. На резервную систему шин выделяют трансформатор связи и резервный трансформатор собственных нужд. В схеме с фиксированным присоединением элементов к рабочей и резервной системам шин обеспечивается селективное отключение поврежденной системы шин от защиты шин. При нарушении фиксации присоединений к обеим системам шин повреждение на любой системе шин приводит к отключению обеих систем шин.

*Схема защиты шин с фиксированным присоединением элементов* содержит отдельные токовые избирательные ор-

ганы для рабочей (реле *РТН3* и *РТН4*) и резервной (реле *РТН5* и *РТН6*) систем шин и общий токовый пусковой орган (реле *РТН1* и *РТН2*). Токовые органы защиты выполнены с помощью реле типа РНТ-567.

Токовые избирательные органы рабочей системы шин дополняются органом пуска по напряжению с использованием реле минимального напряжения *РН1—РН3*, включенных на междуфазные напряжения.

Избирательные органы резервной системы шин выполняются без пуска по напряжению, так как на резервной системе обычно не бывает значительной нагрузки, что позволяет защиту этой системы шин выполнить в виде токовой отсечки без пуска по напряжению.

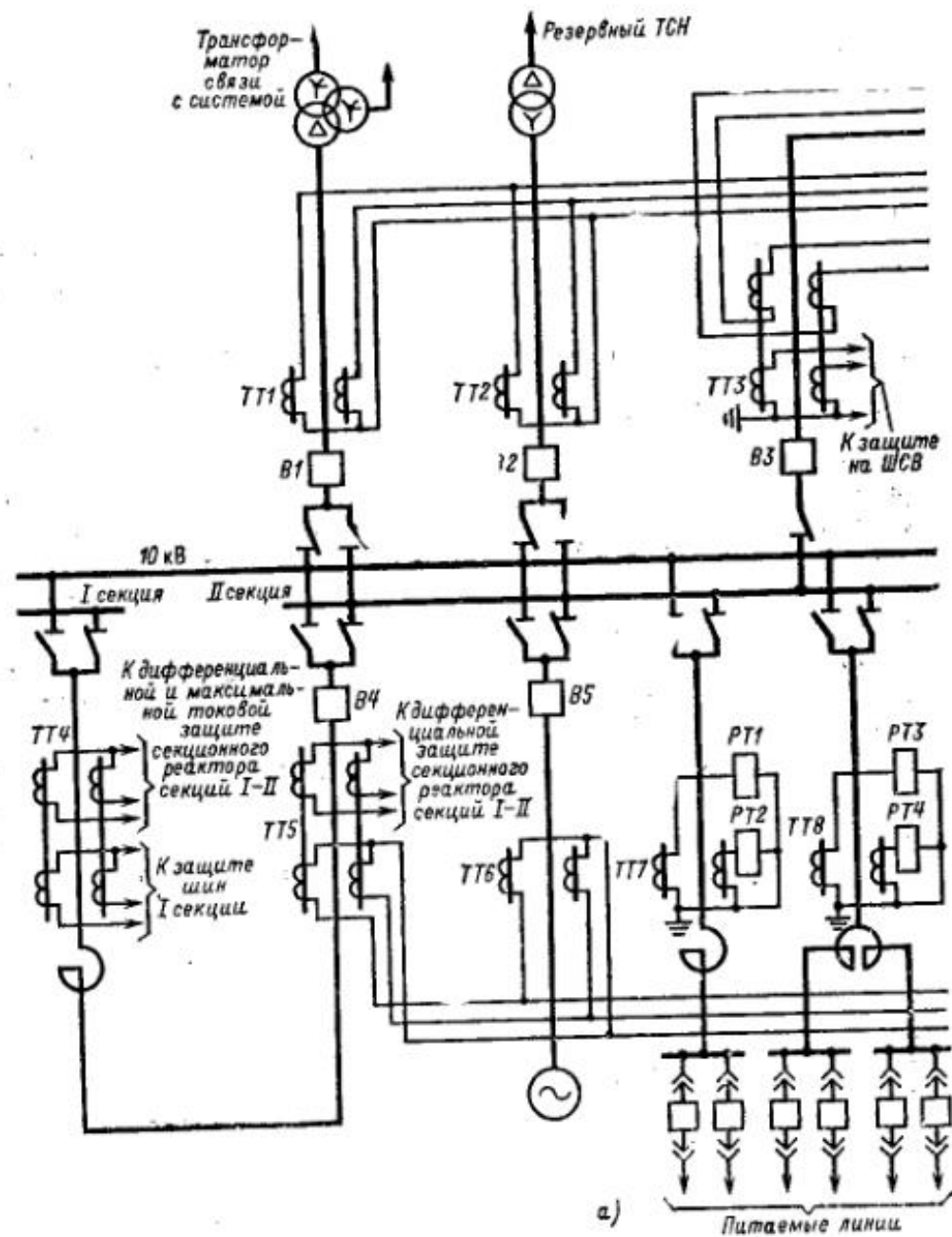
Орган пуска по напряжению (реле *РН1—РН3*) питается от трансформаторов напряжения рабочей системы шин через переключатель, установленный в схеме вторичных цепей трансформаторов напряжения.

При переводе всех присоединений на резервную систему шин 10 кВ, а также при неисправностях в цепях напряжения рабочей системы шин в режиме работы с фиксированным присоединением элементов питание цепей напряжения осуществляется от трансформаторов напряжения резервной системы шин через вышеуказанный переключатель цепей напряжения.

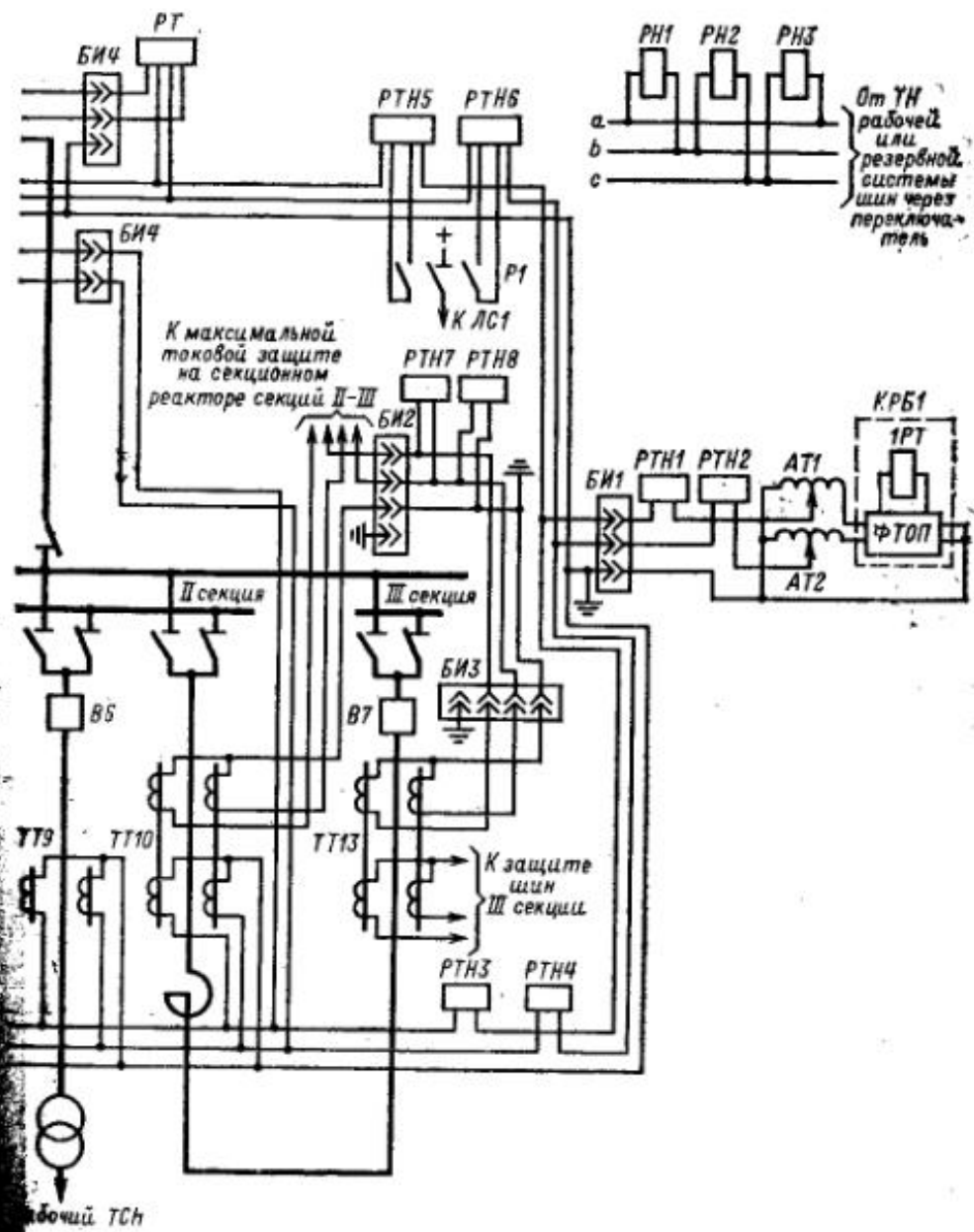
В схеме защиты шин имеются два рубильника *Р1* и *Р2*, которые при работе с фиксированным присоединением элементов должны быть разомкнуты. При нарушении фиксации они должны быть замкнуты, что сигнализируется лампами *ЛС1* и *ЛС2*. Рубильник *Р1* предназначен для шунтирования катушек токовых избирательных органов (*РТН5* и *РТН6*) защиты резервной системы шин, вследствие чего они не обтекаются током; контакты их остаются разомкнутыми. Поэтому последние не шунтируют контакты реле напряжения *РН1—РН3* и общая защита шин будет работать с пуском по напряжению, что предотвратит ее ложное срабатывание при внешних КЗ.

Рубильник *Р2* шунтирует цепи контактов избирательных органов *РТН3* и *РТН4* защиты рабочей системы шин и одновременно объединяет выходные промежуточные реле рабочей и резервной систем шин, что обеспечивает отключение обеих систем шин при повреждении на любой из них после срабатывания реле тока *РТН1* или *РТН2* пускового органа и любого из реле напряжения *РН1—РН3* и последующего срабатывания промежуточных реле *РП1*, *РП7—РП9*.

При КЗ между включенным ШСВ и его трансформаторами тока, находящимися в зоне действия защиты рабочей системы шин, эта защита срабатывает и отключает все питающие элементы, присоединенные к данной системе шин, а также ШСВ. Но при этом КЗ не ликвидируется, так как оно остается подключенным к резервной системе шин, при-



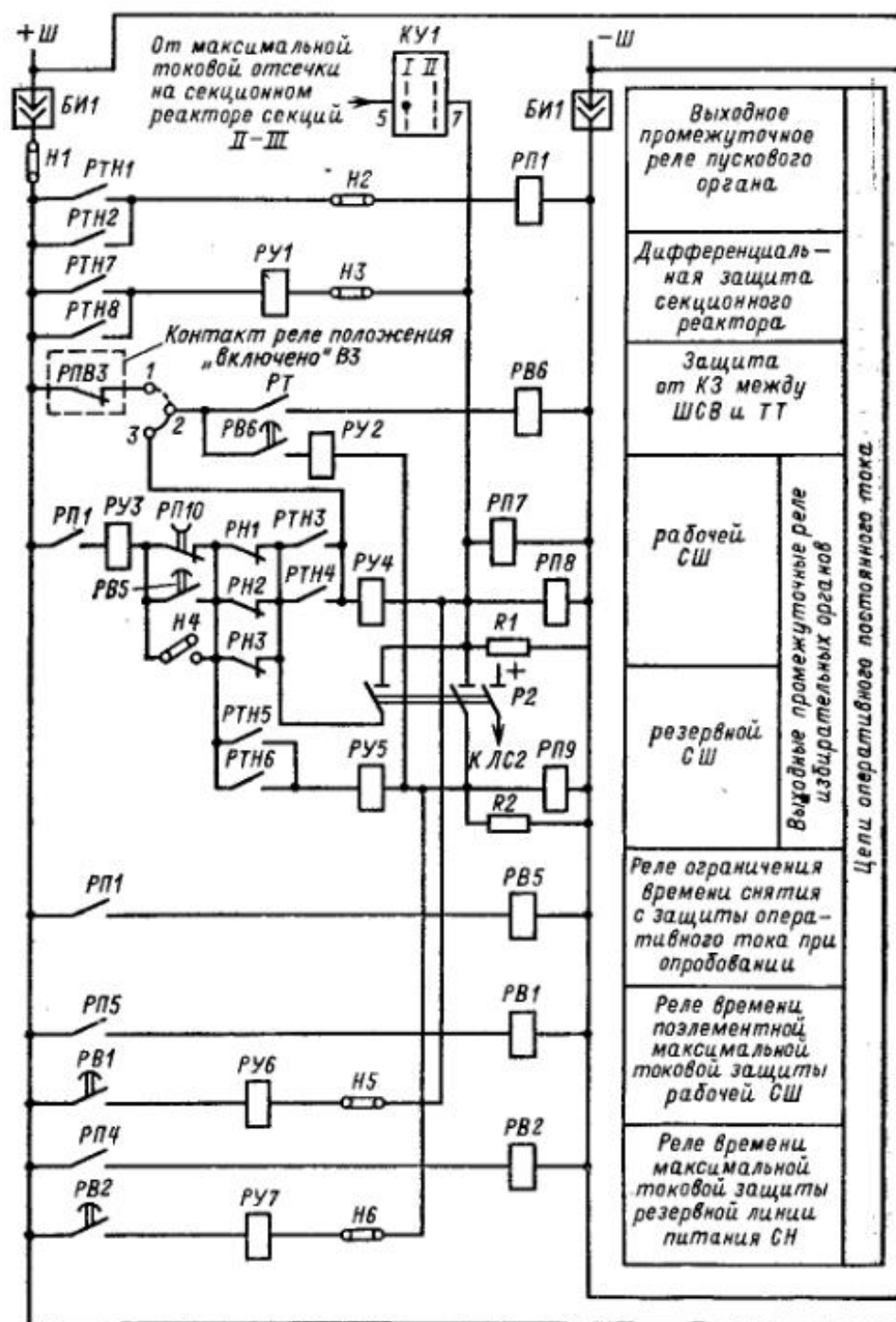
чем находится вне зоны действия защиты этой системы шин. Избирательные органы этой защиты не срабатывают, трансформатор связи остается в работе и продолжает питать место КЗ. В связи с этим в схеме рассматриваемой защиты шин предусмотрено специальное устройство, содержащее трехфазное реле тока  $PT$  типа  $PT-40/P-5$ , которое



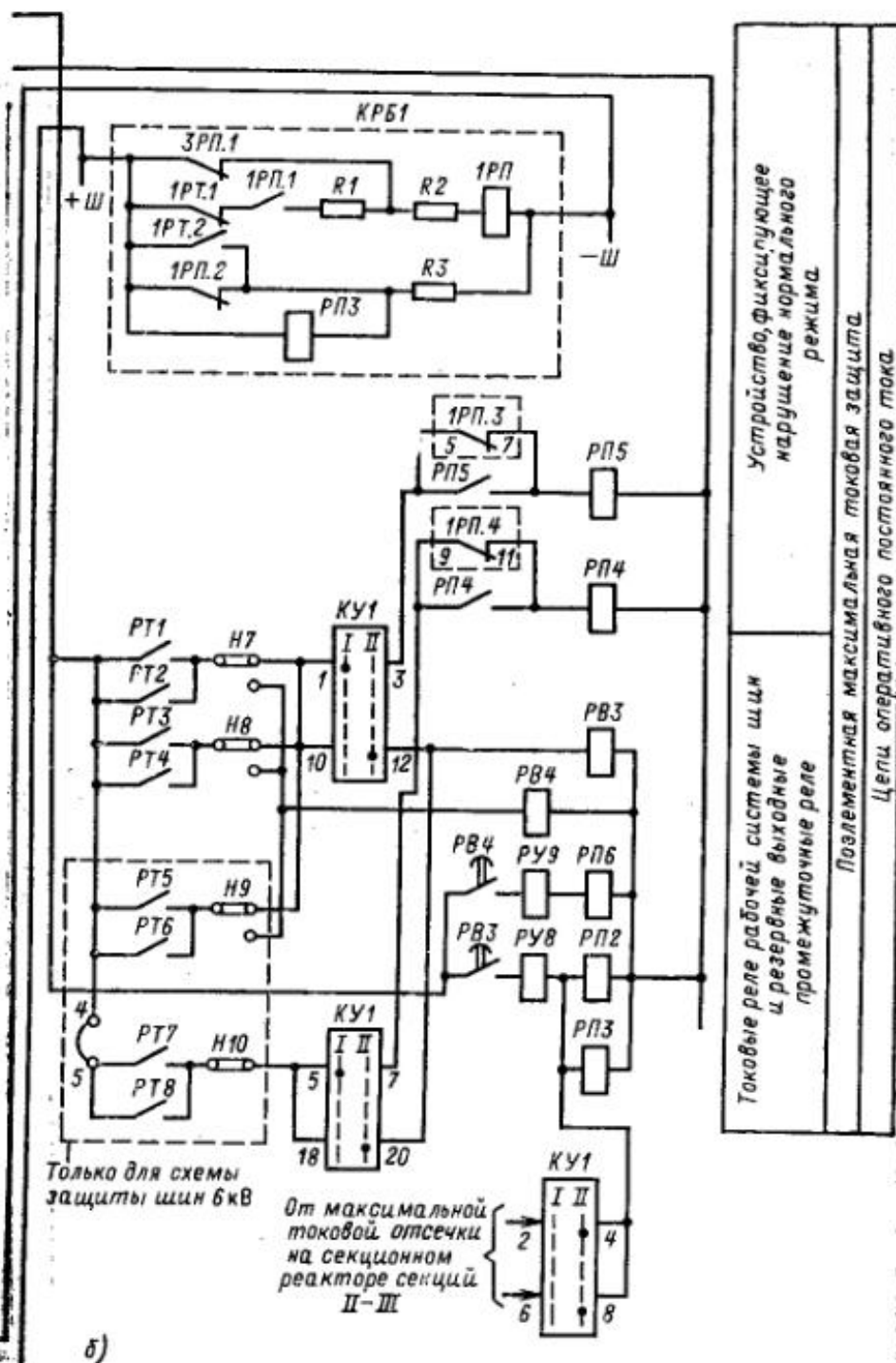


с небольшой выдержкой времени, определяемой реле времени *PВ6*, обеспечивает отключение этого КЗ.

Реле тока *РТ* включается в токовые цепи защиты шин. «Плюс» на контакты реле *РТ*, как видно из рис. 12, может



быть подан либо от контактов избирательных реле защиты рабочей системы шин, либо через размыкающий контакт *РПВ3* реле положения «включено» ШСВ, для чего в схеме предусмотрены специальные разъемные зажимы 1-3.



Следует отметить, что пуск указанного устройства контактами избирательных реле тока защиты рабочей системы шин, которые обтекаются вторичным током повреждения, проходящим через трансформатор тока ШСВ, отличается большей надежностью и его следует использовать, если чувствительность избирательных реле не ограничивает действия реле тока *РТ* в рассматриваемом случае.

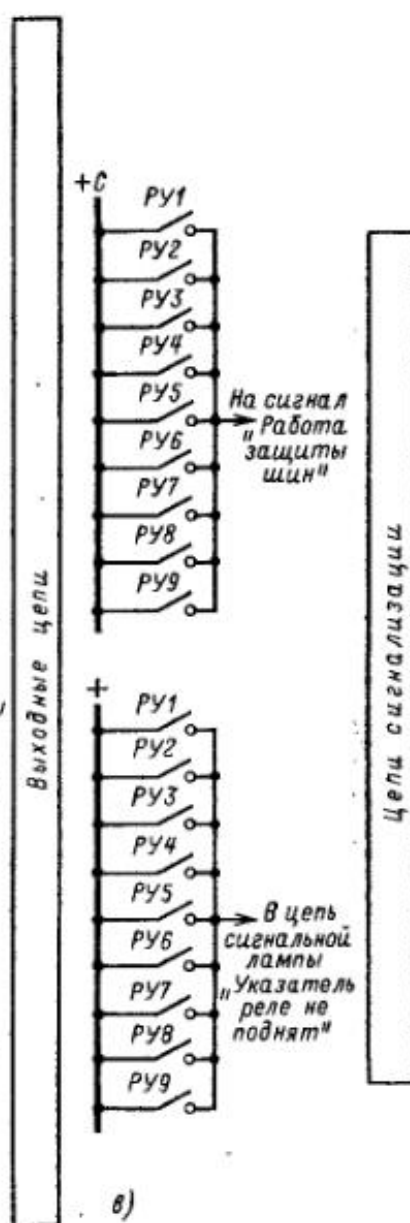
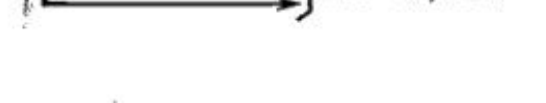
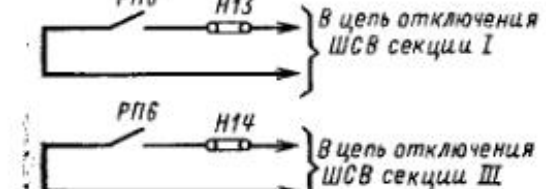
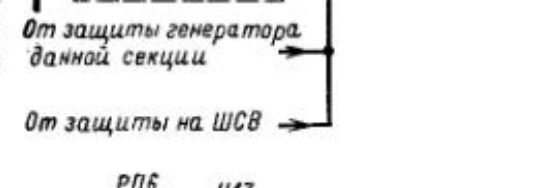
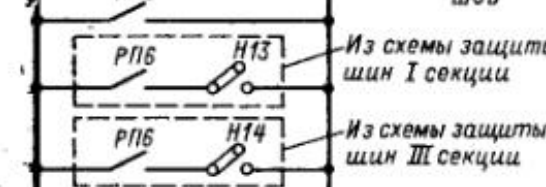
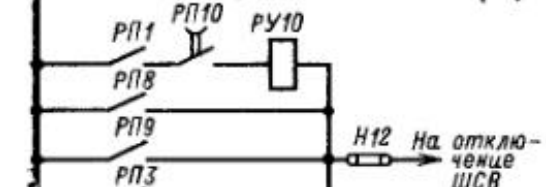
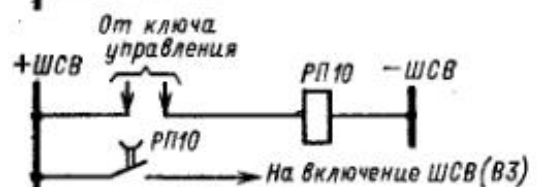
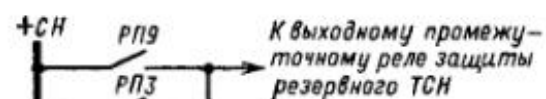
Устройство с реле *РТ* действует с выдержкой времени, которая должна быть больше собственного времени отключения ШСВ (принимается порядка 0,3—0,4 с), на срабатывание выходного реле *РП9* защиты резервной системы шин,

в результате чего отключаются выключатели *В1* трансформатора связи и *В2* резервного трансформатора собственных нужд.

Продольная дифференциальная токовая защита секционного реактора, связывающего секции II и III, выполнена (рис. 12) с помощью двух реле тока *РТН7* и *РТН8* типа РНТ-565 и действует без выдержки времени на выходные реле *РП7* и *РП8* защиты рабочей системы шин, которые в свою очередь действуют на отключение питающих

Рис. 12. Схема защиты двойной системы шин 10 кВ с дифференциальной токовой защитой секционного реактора и поэлементным охватом реакторов отходящих линий в исполнении для фиксированного распределения присоединений:

*а* — цепи переменного тока; *б* — цепи оперативного постоянного тока; *в* — выходные цепи и цепи сигнализации; *РТН1—РТН6* — реле тока РНТ-567; *РТН7, РТН8* — реле тока РНТ-565; *РТ1—РТ4* — реле тока РТ-40; *РТ* — реле тока РТ-40/Р-5; *РН1—РН3* — реле напряжения РН-54/160; *КРБ1* — устройство блокировки при качаниях КРБ-126; *РВ1, РВ2* — реле времени РВ-134; *РВ3, РВ4* — реле времени РВ-134; *РВ5* — реле времени РВ-113; *РВ6* — реле времени РВ-114; *РП1—РП9* — реле промежуточные РП-23; *РП10* — реле промежуточное РП-252; *РУ1—РУ7* — реле указательные РУ-21/0,05; *РУ8* — реле указательное РУ-21/0,025; *РУ9* — реле указательное РУ-21/0,015; *РУ10* — реле указательное РУ-21/1; *Н1—Н14* — накладки НКР-3; *БИ1, БИ4* — блоки испытательные БИ-6; *БИ2, БИ3* — блоки испытательные БИ-4; *АТ1, АТ2* — автотрансформаторы АТ-32-У3; *Р1* — резистор с сопротивлением 10 000 Ом типа ПЭВ-50; *КУ1* — переключатель малогабаритный ПМОФ90-111111/Д42; *Р1, Р2* — рубильник однополюсный (в трехполюсном исполнении) Р16; *ЛС1, ЛС2* — арматура сигнальной лампы с белой линзой (с лампой Ц-220/10).



элементов, присоединенных к этой системе шин: генератора, секционных реакторов I—II и II—III, а также ШСВ.

Поэлементная максимальная токовая защита отходящих линий 10 кВ при работе с фиксированным присоединением питающих элементов к обеим системам шин выполнена аналогично схеме рис. 11. Для данной защиты также используется устройство КРБ-126, обеспечивающее ее действие только при коротких замыканиях на отходящих линиях 10 кВ. При напряжении шин 10 кВ используются только размыкающие контакты 1РП.3 реле 1РП устройства КРБ-126, приводящие в действие промежуточное реле РП5, от которого срабатывает реле времени, запускающее выходные реле РП7 и РП8 защиты рабочей системы шин. Они действуют на отключение всех питающих элементов рабочей системы шин и ШСВ.

В схеме защиты шин 10 кВ в связи с питанием потребителей собственных нужд от трансформаторов 10/6 кВ не используются контакты 1РП.4 реле 1РП в устройстве КРБ-126, промежуточное реле РП4, реле времени РВ2, указательное реле РУ7, накладки Н6, Н9 и Н10 и контакты 5—7 и 18—20 в переключателе КУ1, поэтому они должны быть выведены из схемы защиты.

Для сборных шин 6 кВ питание собственных нужд выполняется с помощью рабочей и резервной реактированных линий. На этих линиях устанавливается до реактора поэлементная максимальная токовая защита с использованием устройства КРБ-126 по аналогии с защитами отходящих линий 6 кВ.

Для защиты реактированной резервной линии собственных нужд используются реле тока, которые, как правило, снабжены пуском по напряжению. При работе с фиксированным присоединением элементов резервная реактированная линия собственных нужд присоединяется вместе с трансформатором связи к резервной системе шин 6 кВ. При повреждении в реакторе этой линии и при резервировании собственной защиты, установленной после реактора, поэлементная максимальная токовая защита должна действовать на отключение трансформатора связи и ШСВ.

В связи с этим в схеме поэлементной максимальной токовой защиты реактированной линии используются контакты 1РП.4 реле 1РП устройства КРБ-126, которое при указанных выше повреждениях запускает промежуточное реле РП4, от которого срабатывает реле времени РВ2, приводящее в действие промежуточное выходное реле РП9 защиты резервной системы шин, действующее на отключение

трансформатора связи и ШСВ II секции. В результате рабочая система шин продолжает нормальную работу.

При выведении на проверку неполной дифференциальной защиты шин необходимо с помощью переключателя КУ1 перевести действие поэлементной токовой защиты на резервные выходные реле РП2 и РП3, которые приходят в действие после срабатывания реле времени РВ3 и от которых отключаются все питающие элементы и источники питания собственных нужд.

При выведенной из действия защите шин в работу включается токовая отсечка секционного реактора данной секции для действия при КЗ на сборных шинах.

Следует отметить, что при выводе на проверку защиты шин и сохранении фиксированного присоединения элементов избирательное действие защиты при КЗ на шинах или в реакторах отходящих присоединений не сохраняется, так как защита секционного реактора действует на выходные реле РП2 и РП3, от которых отключаются все питающие элементы обеих систем шин.

Схема защиты шин позволяет осуществить питание одной или нескольких отходящих линий данной секции от соседних секций путем перевода этих линий на резервную систему шин и питания их от другой секции через включенный ШСВ этой секции. Для этого необходимо освободить резервную систему шин переводом трансформатора связи и резервного трансформатора собственных нужд на рабочую секцию II. На резервную систему шин подключаются отходящие линии, которые должны питаться от другой секции, и включается ШСВ той секции (I или III), от которой будут питаться присоединения, переведенные на резервную систему шин.

В схеме защиты шин предусмотрено устройство для замедления отключения питающих элементов при опробовании одной из систем шин путем подачи напряжения через ШСВ. При включении ШСВ от ключа управления срабатывает промежуточное реле РП10, имеющее замедление на возврат. Оно подает импульс на включение выключателя и одновременно размыкает свой размыкающий контакт в цепи пуска выходных промежуточных реле РП7 и РП8, чем предотвращается срабатывание этих реле при повреждениях на опробуемой системе шин.

При повреждении на опробуемой системе шин (при этом срабатывают реле РТН1, РТН2 и их реле-повторитель РП1) через замыкающие контакты реле РП1 и РП10 замыкается цепь на отключение ШСВ, чем предотвращает

ся отключение питающих элементов на системе шин, находящейся в работе.

В нормальном режиме при возникновении повреждения на шинах отключение ШСВ производится от тех же выходных реле (РПЗ, РП8 и РП9), от которых производится отключение питающих элементов секции.

При выводе в ремонт ШСВ следует включить накладку Н4, чтобы обеспечить действие защиты в этом режиме, так как при проверках выключателя контакт реле РП10 в цепи выходных реле защиты шин может быть длительно разомкнут. Во всем остальном данная схема защиты аналогична схеме, приведенной на рис. 11.

#### 4. ЗАЩИТА НА ШИНОСОЕДИНИТЕЛЬНОМ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕ 6—10 кВ

На рис. 13 приведена схема защиты на шиносоединительном выключателе 6—10 кВ, которая применяется на тепловых электростанциях, введенных в эксплуатацию до 1974 г.

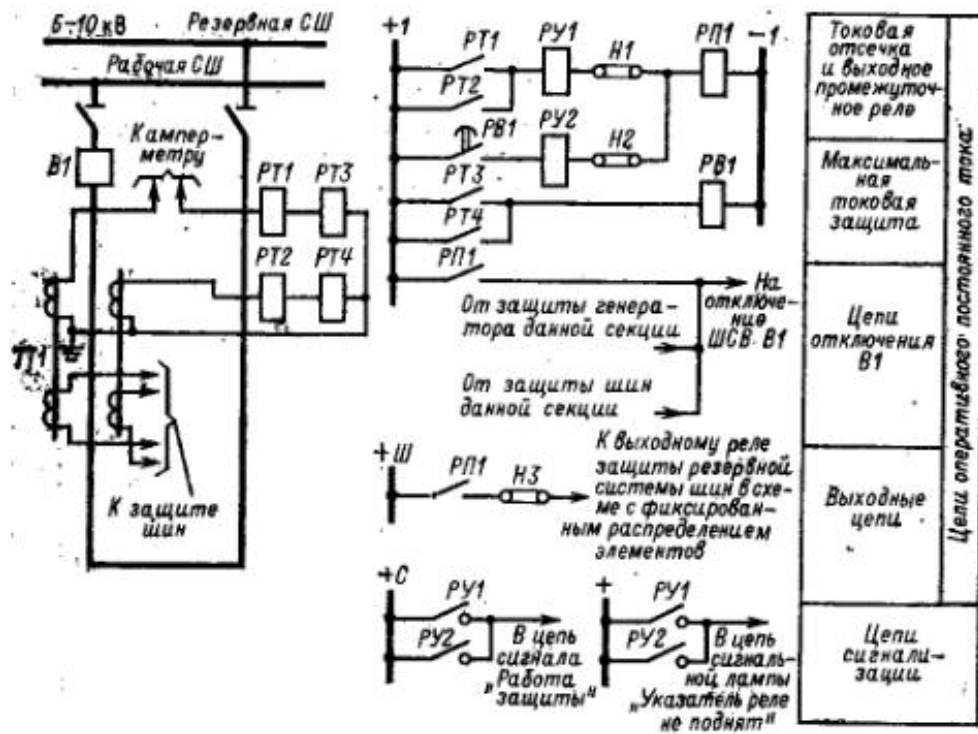


Рис. 13. Схема защиты на шиносоединительном выключателе 6—10 кВ с токовой отсечкой и максимальной токовой защитой:

PT1—PT4 — реле тока РТ-40; PB1 — реле времени РВ-134; РП1 — реле промежуточное РП-23; РУ1, РУ2 — реле указательные РУ-21/0,015; Н1—Н3 — накладки НКР-3

Защита выполнена двухступенчатой, содержит токовую отсечку без выдержки времени (реле тока PT1 и PT2) и резервную максимальную токовую защиту с выдержкой времени (реле тока PT3 и PT4 и реле времени PB1). Токовая отсечка используется и для опробования под напряжением рабочей или резервной системы шин 6—10 кВ в случае, когда неполная дифференциальная токовая защита шин выведена из действия для проверки.

Максимальная токовая защита используется для защиты отходящих линий, переведенных на резервную систему шин, в случае неисправности их собственных защит. При этом трансформаторы тока ШСВ должны быть введены в схему защиты шин соответствующей секции, чтобы предотвратить работу неполной дифференциальной защиты этой секции при повреждениях на резервной системе шин или на отходящих от нее присоединениях.

Приведенная схема используется для электростанций, на которых нормально все питающие элементы присоединены к одной системе шин 6—10 кВ, а также при работе с фиксированным присоединением элементов.

Предусмотрено действие защиты на ШСВ через накладку Н3 на выходное реле защиты резервной системы шин в схеме с фиксированным присоединением элементов. Это требуется для отключения всех питающих элементов резервной системы шин при выделении какой-либо питаемой линии на резервную систему шин и КЗ в реакторе этой линии. Токореле собственной защиты указанного реактора должны быть в этом случае выведены из действия (должна быть снята накладка в цепи защиты этого реактора).

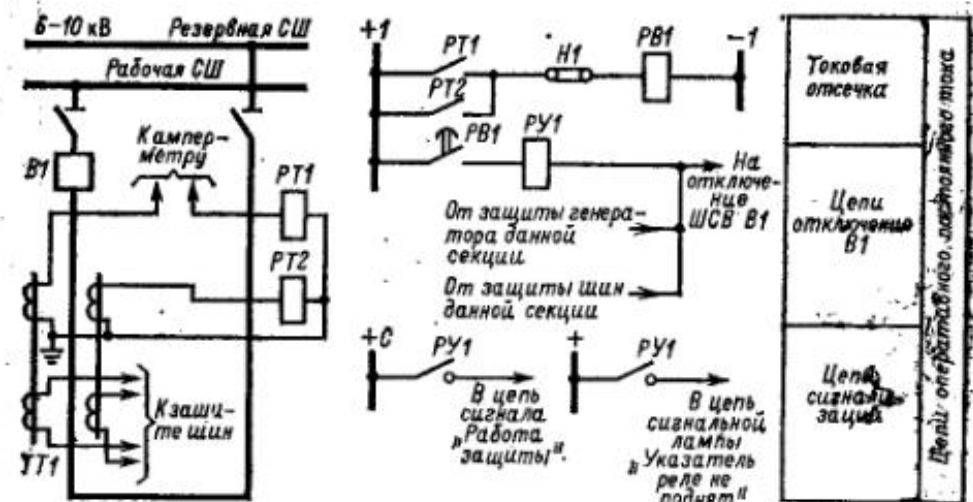


Рис. 14. Схема защиты на шиносоединительном выключателе 6—10 кВ с токовой отсечкой:

PT1, PT2 — реле тока РТ-40; PB1 — реле времени РВ-114; РУ1 — реле указательное РУ-21/1; Н1 — накладка НКР-3

На рис. 14 приведена схема защиты на шиносоединительном выключателе, которая применяется на тепловых электростанциях, введенных в эксплуатацию после 1974 г. В соответствии с этой схемой на ШСВ 6—10 кВ устанавливается токовая отсечка с выдержкой времени (реле тока  $PT1$  и  $PT2$  и реле времени  $PB1$  типа РВ-114). Защита действует на отключение ШСВ. Она вводится в работу при шунтировании двумя ШСВ секционного реактора в режиме, когда отключены источники питания на одной из секций. Как указано выше, в этом случае резервная система шин защищается от повреждений на ней с помощью токовой отсечки ШСВ питающей секции.

## 5. ЗАЩИТА НА СЕКЦИОННОМ РЕАКТОРЕ 6—10 кВ

Как указано выше, на секционных реакторах 6—10 кВ тепловых электростанций с генераторами мощностью 63—100 МВт раньше отдельная продольная дифференциальная защита не предусматривалась. Повреждения в реакторе должны были ликвидироваться защитами шин секций, которые соединены с поврежденным реактором. Однако чувствительность защиты шин секции, к которой реактор присоединен без выключателя, недостаточна при повреждениях между реактором и отключенным секционным выключателем (не приходит в действие орган

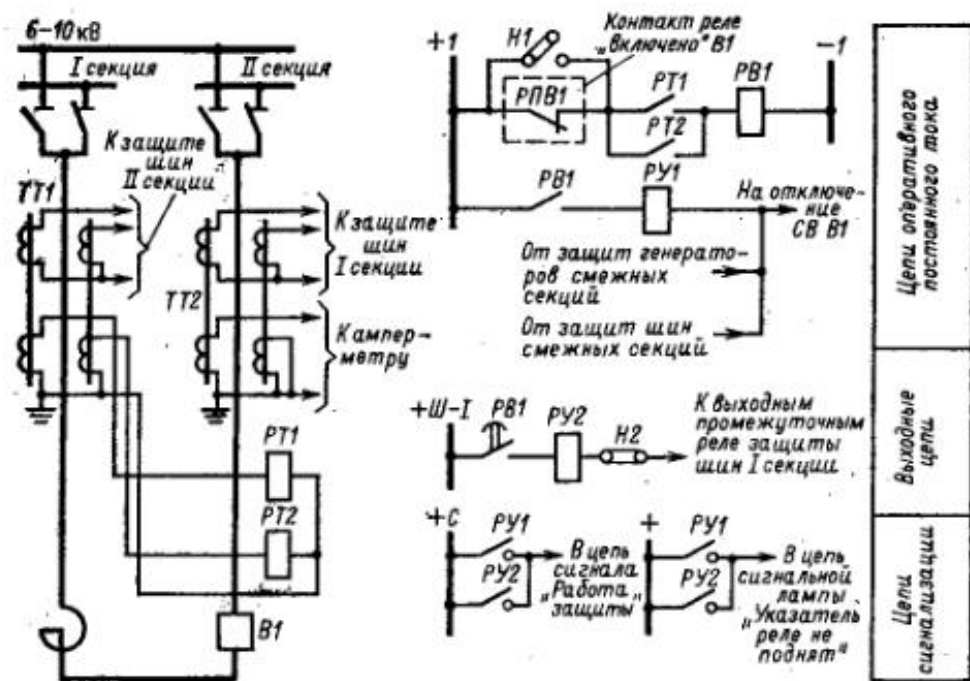


Рис. 15. Схема защиты на секционном реакторе 6—10 кВ с максимальной токовой защитой:

$PT1$ ,  $PT2$  — реле тока РТ-40;  $PB1$  — реле времени РВ-134;  $РУ1$  — реле указательное РУ-21/1;  $РУ2$  — реле указательное РУ-21/0,025;  $Н1$ ,  $Н2$  — накладки НКР-3.

пуска по напряжению). В связи с этим и предусматривается отдельная максимальная токовая защита на секционном реакторе, которая должна воздействовать на выходные промежуточные реле защиты шин указанной секции для отключения питающих элементов этой секции.

Схема максимальной токовой защиты на секционном реакторе приведена на рис. 15. Она выполнена на двух фазах с использованием реле тока  $PT1$  и  $PT2$  и реле времени  $PB1$ . При включенном секционном выключателе защита выведена из действия — отключена накладка  $Н1$  и разомкнут контакт реле положения выключателя  $РПВ1$ . При повреждениях между реактором и выключателем  $В1$  последний отключается от защиты шин II секции. Контакт  $РПВ1$  замыкается, защита срабатывает и замыкает цепь выходного промежуточного реле защиты шин I секции, которое действует на отключение всех питающих элементов данной секции.

Эта же защита предназначена также для ликвидации повреждений на шинах при опробовании их напряжением через секционный выключатель. В этом случае необходимо включить накладку  $Н1$ , чтобы подать напряжение постоянного тока на максимальную токовую защиту секционного реактора.

Защита секционного реактора 6—10 кВ, применяемая в настоящее время на тепловых электрических станциях с генераторами 63—100 МВт, в отличие от приведенной на рис. 15 схемы защиты содержит продольную дифференциальную токовую защиту, описанную ранее при рассмотрении схем защиты шин 6—10 кВ на рис. 10—12, и токовую отсечку с выдержкой времени порядка 0,5 с (по условию отстройки от мгновенных защит питающих элементов, присоединенных к соответствующей секции шин). Последняя защита включается на трансформаторы тока  $ТТ1$ , установленные на секционном реакторе со стороны I секции сборных шин, которые используются также и для продольной токовой дифференциальной защиты секционного реактора.

Схема токовой отсечки секционного реактора, связывающего секции I и II шин 6—10 кВ, приведена на рис. 16. Она выполнена с помощью двух реле тока  $PT1$  и  $PT2$ , включенных на трансформаторы тока  $ТТ1$ , установленные на фазах А и С. В нормальном режиме эта защита выведена из действия — отключена накладка  $Н1$  и разомкнут контакт  $РПВ1$  в реле положения выключателя секционного реактора. После отключения секционного выключателя защита вводится автоматически в действие от контакта реле  $РПВ1$  (который замыкается при отключенном выключателе). В этом случае защита действует с небольшой выдержкой времени на основные или резервные выходные реле защиты шин секции I через ключ  $КУ1$ , установленный в схеме защиты шин.

Автоматическое введение рассматриваемой защиты в действие необходимо для ликвидации повреждений в зоне между секционным выключателем и его трансформаторами тока  $ТТ2$ . При этих поврежде-

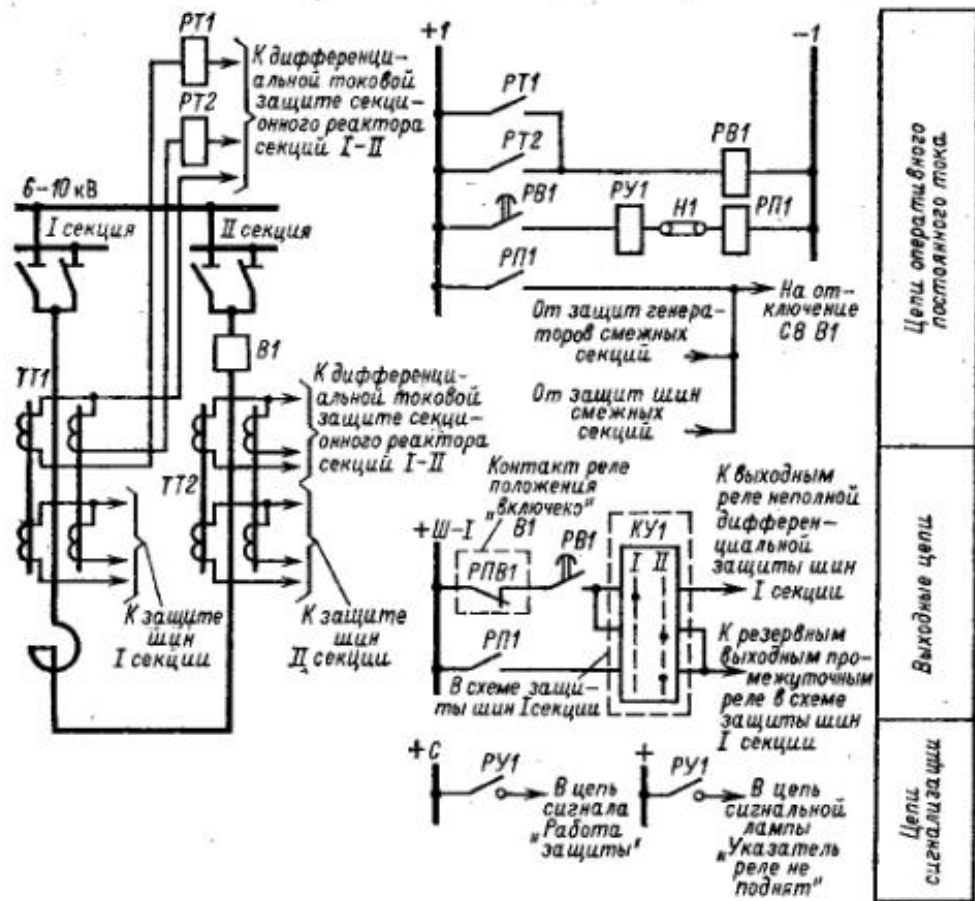


Рис. 16. Схема защиты на секционном реакторе 6—10 кВ с токовой отсечкой при применении дифференциальной токовой защиты секционного реактора:

PT1, PT2 — реле тока РТ-40; RV1 — реле времени РВ-114; RP1 — реле промежуточное РП-23; RY1 — реле указательное РУ-21/0,015, Н1 — накладка НКР-3

ниях не работает дифференциальная защита секционного реактора, поскольку повреждения находятся вне зоны ее действия, но работает защита шин секции II, в зоне действия которой находятся указанные повреждения. В результате отключаются все питающие элементы, присоединенные к секции II, в том числе и выключатель секционного реактора B1. Но короткое замыкание продолжает питаться от секции I шин, так как оно находится вне зоны действия защиты шин этой секции. Поэтому и предусматривается отключение КЗ от токовой отсечки секционного реактора, которая автоматически вводится в действие после отключения выключателя секционного реактора и действует на отключение питающих элементов секции I шин. Для этого используются переключатель КУ1 и выходные промежуточные реле неполной дифференциальной защиты шин секции I. При ревизии этой защиты используются резервные выходные промежуточные реле защиты шин секции I.

Защита секционного реактора вводится в работу (включается накладка Н1) для действия на отключение только секционного выключателя в режиме, когда на секции отключены источники питания и нагрузка этой секции питается от другой секции через секционные реакторы.

Для ликвидации КЗ на этой секции необходимо, чтобы защита источников питания соседней секции воздействовала на отключение секционного выключателя. Однако при трехфазном КЗ на рассматриваемой секции возможен отказ максимальной токовой защиты с пуском по напряжению, установленной на генераторе соседней секции, из-за недостаточной чувствительности реле минимального напряжения, если падение напряжения в реакторе от тока КЗ превысит уставку срабатывания реле напряжения. В этом случае секционный реактор не отключится. В связи с этим и предусмотрено введение в действие защиты на секционном реакторе, которая отключит его. Токовая отсечка секционного реактора используется также при опробовании секции шин после ремонта. С помощью накладки Н1 она вводится в работу с действием на отключение секционного выключателя.

## 6. РАСЧЕТ И ВЫБОР УСТАВОК ЗАЩИТЫ ШИН И ШИННЫХ АППАРАТОВ 6—10 кВ

Для выбора уставок и проверки чувствительности защиты шин 6—10 кВ необходимо рассчитать токи, проходящие через трансформаторы тока защиты при КЗ на этих шинах.

**Расчет токов КЗ на шинах 6—10 кВ.** Для расчета токов КЗ составляется расчетная схема, на которой показывают все элементы, подсоединенные к этим шинам: генератор, повышающий трансформатор, реакторы, трансформаторы собственных нужд. На основании этой схемы составляется схема замещения, на которой все элементы расчетной схемы заменяются соответствующими индуктивными сопротивлениями, так как при расчетах токов КЗ на шинах 6—10 кВ допускается не учитывать активных сопротивлений элементов расчетной схемы ввиду их малого значения. При расчете токов КЗ на шинах 6—10 кВ за расчетное напряжение принимается среднее напряжение этих шин, а потому все сопротивления элементов расчетной схемы должны быть отнесены к этому напряжению.

Сопротивления генератора и трансформатора, заданные в каталогах в относительных единицах, необходимо

пересчитать в омах, для чего пользуются следующими выражениями:

для генератора

$$x_{\Gamma} = \frac{x_d'' U_{\text{ном}}^2}{S_{\text{ном}}}, \quad (1)$$

где  $x_d''$  — сверхпереходное реактивное сопротивление генератора, отн. ед.;  $U_{\text{ном}}$  — номинальное напряжение генератора, кВ;  $S_{\text{ном}}$  — номинальная мощность генератора, МВ·А;

для трансформатора

$$x_{\Gamma} = \frac{u_k \% U_{\text{ном}}^2}{100 S_{\text{ном}}}, \quad (2)$$

где  $u_k \%$  — напряжение КЗ трансформатора, %;  $U_{\text{ном}}$  — номинальное напряжение обмотки низшего напряжения трансформатора, кВ;  $S_{\text{ном}}$  — номинальная мощность трансформатора, МВ·А.

Сопротивление реактора в расчете принимается равным его номинальному индуктивному сопротивлению в омах, которое обычно приводится в каталогах на реакторы.

Сопротивление системы определяется исходя из мощности КЗ на шинах повышенного напряжения станции:

$$x_{\text{сист}} = U_{\text{ном}}^2 / S_{\text{к}}, \quad (3)$$

где  $U_{\text{ном}}$  — среднее номинальное напряжение на шинах повышенного напряжения станции, связанных с системой, кВ;  $S_{\text{к}}$  — мощность КЗ на указанных шинах, МВ·А.

Если мощность  $S_{\text{к}}$  не задана, ее определяют по номинальной мощности отключения выключателя, присоединенного к указанным шинам.

Так как все сопротивления в схеме замещения должны быть отнесены к напряжению 6—10 кВ, в формулу (3) вместо  $U_{\text{ном}}$  необходимо подставить среднее номинальное напряжение 6,3 или 10,5 кВ.

В расчете учитывается подпитка отдельно от синхронных и асинхронных электродвигателей, которые замещаются электродвигателями с обобщенными параметрами, исходя из суммарной нагрузки, потребляемой синхронными и асинхронными электродвигателями.

Сопротивление синхронных электродвигателей определяется по выражению

$$x_{\text{с.д}} = \frac{x_d'' U_{\text{ном}}^2}{\eta_{\text{н}} S_{\text{н,с.д}}}, \quad (4)$$

где  $x_d''$  — сверхпереходное реактивное сопротивление электродвигателя, отн. ед.;  $U_{\text{ном}}$  — номинальное напряжение электродвигателя, кВ;  $S_{\text{н,с.д}}$  — мощность нагрузки, потребляемой электродвигателями, МВ·А;  $\eta_{\text{н}}$  — коэффициент, учитывающий неполную загрузку электродвигателей, принимается равным 1,5 (вводится для учета установленной мощности работающих двигателей).

Сопротивление асинхронных электродвигателей определяется по выражению

$$x_{\text{а.д}} = \frac{U_{\text{ном}}^2}{k_{\text{пуск}} \eta_{\text{н}} S_{\text{н,а.д}}}, \quad (5)$$

где  $k_{\text{пуск}}$  — средняя кратность пускового тока электродвигателей, принимается равной 5,5;  $S_{\text{н,а.д}}$  — мощность нагрузки, потребляемой электродвигателями, МВ·А.

По схеме замещения определяется результирующее сопротивление относительно соответствующей точки КЗ —  $x_{\text{рез}}$ . Значение тока трехфазного КЗ на шинах 6—10 кВ определяется по выражению

$$I_{\text{к}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ф}}}{x_{\text{рез}}} = \frac{U_{\text{ном}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} x_{\text{рез}}}, \quad (6)$$

где  $U_{\text{ном}}$  — среднее расчетное номинальное напряжение шин генераторного напряжения, равное 6,3 или 10,5 кВ.

Значение тока двухфазного КЗ на шинах 6—10 кВ можно определить по выражению

$$I_{\text{к}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{\text{к}}^{(3)}. \quad (7)$$

#### Методика выбора уставок защиты шин

Для защиты сборных шин электростанций с генераторами мощностью менее 60 МВт, как указано выше, предусматривается двухступенчатая неполная дифференциальная токовая защита, содержащая токовую отсечку и максимальную токовую защиту.

Ток срабатывания токовой отсечки выбирается по условию отстройки от максимального тока, проходящего через реле защиты при КЗ за реакторами питаемых линий. При этом должен учитываться режим, когда при отключении одной из секций вся или часть нагрузки отключенной секции при действии устройства автоматического включения резерва переключается на защищаемую секцию:

$$I_{\text{с.з}} = k_{\text{н}} [I_{\text{к,мах}} + k_{\text{нагр}} (I_{\text{н}} + I_{\text{н,доп}})], \quad (8)$$

где  $k_n$  — коэффициент надежности, равный 1,2;  $k_{нагр}$  — коэффициент нагрузки, ориентировочно принимаемый равным 1,2;  $I_{к,мах}$  — максимальный первичный ток КЗ при повреждении за реактором защищаемой линии;  $I_n$  — суммарный ток нагрузки питаемых линий, присоединенных к защищаемой секции шин при работе всех секций;  $I_{н,доп}$  — суммарный дополнительный ток нагрузки линий при отключении одной из секций.

Введение в (8) коэффициента нагрузки вызвано тем, что при снижении напряжения на шинах в случае КЗ за реактором питаемой линии, отключаемой с выдержкой времени, увеличивается ток нагрузки остальных питаемых линий, присоединенных к данной секции.

Ток срабатывания максимальной токовой защиты выбирается по условию отстройки от суммарного тока нагрузки всех питаемых линий, присоединенных к защищаемой секции шин. При этом рассматриваются режимы, когда ток нагрузки будет максимальным:

1) после отключения КЗ за реактором одной из питаемых линий, присоединенных к защищаемой секции шин в том случае, когда нагрузка ее была увеличенной в результате отключения другой секции шин. При этом

$$I_{с,з} \geq \frac{k_n k_{нагр}}{k_B} (I_n + I_{н,доп}), \quad (9)$$

где  $k_{нагр}$  — коэффициент нагрузки, принимаемый равным 1,2;  $k_n$  — коэффициент возврата, принимаемый равным 0,8;

2) в момент переключения от устройств АВР приемных подстанций нагрузки отключенной секции на защищаемую

$$I_{с,з} \geq k_n (I_n + k_{самоз} I_{н,доп}), \quad (10)$$

где  $k_{самоз}$  — коэффициент самозапуска.

Коэффициент самозапуска вводится в связи с тем, что при возникновении КЗ на смежной секции на защищаемую секцию переключается от АВР нагрузка, потребляющая увеличенный ток. Коэффициент самозапуска может достигать значения  $k_{самоз} = 2,5 \div 3$  и уточняется в конкретных условиях.

Чувствительность токовой отсечки характеризуется коэффициентом чувствительности  $k_\alpha$ , определяемым по выражению

$$k_\alpha = I_{к,min}^{(2)} / I_{с,з}, \quad (11)$$

где  $I_{к,min}^{(2)}$  — периодическая слагающая (при  $t=0$ ) тока металлического КЗ при замыкании между двумя фазами на

шинах в минимальном режиме;  $I_{с,з}$  — первичный ток срабатывания защиты.

В соответствии с «Правилами устройства электроустановок» [8] допускается  $k_\alpha$  порядка 1,5 и более. Чувствительность максимальной токовой защиты определяется по выражению (11), как и чувствительность отсечки. При этом  $I_{к,min}^{(2)}$  — периодическая слагающая (при  $t=0$ ) тока металлического КЗ при замыкании между двумя фазами за реактором питаемой линии в минимальном режиме.

В связи с тем что данная защита является резервной по отношению к защите, установленной на линии, ее коэффициент чувствительности  $k_\alpha$  должен быть в соответствии с [8] не менее 1,2.

Для защиты сборных шин электростанций с генераторами мощностью 63—100 МВт, как было указано в § 2, предусматриваются следующие защиты:

1) неполная дифференциальная токовая защита с использованием комбинированной отсечки по току и напряжению;

2) дифференциальная токовая защита секционного реактора;

3) поэлементная максимальная токовая защита дляходящих линий 6—10 кВ.

Первичный ток срабатывания неполной дифференциальной защиты выбирается по следующим условиям:

а) отстройки от максимального рабочего тока защищаемой секции шин. При выполнении этого условия исключается неправильное действие защиты при нарушении исправности цепей напряжения защиты.

Первичный ток срабатывания защиты определяется по выражению

$$I_{с,з} \geq \frac{k_n}{k_B} (I_n + I_{н,доп}), \quad (12)$$

где  $k_n$  — коэффициент надежности, равный 1,2;  $k_B$  — коэффициент возврата, принимаемый равным 0,75—0,8 для реле тока типа РНТ-560;  $I_n$  — суммарный ток нагрузки питаемых линий, присоединенных к защищаемой секции шин при работе всех секций шин генераторного напряжения станции;  $I_{н,доп}$  — суммарный дополнительный ток нагрузки питаемых линий, присоединенных к защищаемой секции шин при отключении одной из смежных с ней секций.

Коэффициент возврата вводится для учета возврата реле тока в рабочем режиме после отключения внешнего КЗ, от которого защита отстроена по напряжению;



б) отстройки уставки реле от тока небаланса и подпитки от асинхронных и синхронных электродвигателей при внешнем КЗ.

При этом уставка защиты рассчитывается для режима внешнего КЗ, при котором в реле защиты проходит наибольший ток небаланса (в работе находятся все секции шин генераторного напряжения станции):

$$I_{c,з} = k'_н I'_{нб} + k''_н I''_{а,д} + k''_н I''_{с,д}, \quad (13)$$

где  $I'_{нб}$  — ток небаланса при переходном режиме внешнего КЗ в максимальном режиме работы станции;  $I''_{а,д}$  — начальный суммарный ток подпитки от асинхронных электродвигателей, подключенных к данной секции при работе всех секций станции при внешнем КЗ;  $I''_{с,д}$  — сверхпереходный ток подпитки от синхронных двигателей в тех же условиях;  $k'_н$  — коэффициент надежности, учитывающий погрешности реле и необходимый запас; при отстройке от тока небаланса принимается равным 1,5;  $k''_н$  — коэффициент, учитывающий отстройку от тока подпитки асинхронных электродвигателей, принимается равным 0,6;  $k''_н$  — коэффициент надежности, учитывающий отстройку от быстрогаснущего тока подпитки синхронных электродвигателей, принимается равным 1,2.

Ток небаланса определяется по выражению

$$I_{нб} = k_{апер} k_{одн} f_i I_K, \quad (14)$$

где  $k_{апер}$  — коэффициент, учитывающий увеличение тока КЗ за счет наличия в нем аperiodической составляющей; при выполнении защиты с использованием реле РНТ-560, содержащих встроенные насыщающиеся трансформаторы, принимается равным 1;  $k_{одн}$  — коэффициент однотипности трансформаторов тока, равный 0,5 при применении ТТ одного типа;  $f_i$  — относительная погрешность ТТ защиты, принимаемая равной 0,1;  $I_K$  — периодическая слагающая (при  $t=0$ ) максимального первичного тока, проходящего через один из ТТ при внешнем КЗ.

Расчетным является условие, по которому  $I_{c,з}$  имеет наибольшее значение.

Ток срабатывания реле неполной дифференциальной защиты определяется по выражению

$$I_{c,р} = I_{c,з} / K_I, \quad (15)$$

где  $K_I$  — коэффициент трансформации ТТ защиты шин.

При применении схем с фиксированным распределением элементов по приведенным выше условиям определяется ток срабатывания пускового органа дифференциальной защиты. Ток срабатывания избирательных органов можно принять равным току срабатывания пускового органа, учитывая, что вторичные токи нагрузки, проходящие через избирательные органы, равны токам, проходящим через пусковой орган, или меньше них.

Напряжение срабатывания реле напряжения комбинированной отсечки определяется по условию отстройки от минимального напряжения на защите, появляющегося при таком КЗ за реактором одной из питаемых линий, при котором ток в защите равен току срабатывания токовых реле отсечки:

$$U_{c,з} = \frac{\sqrt{3} I_{c,з} x_p}{k_n}, \quad (16)$$

где  $I_{c,з}$  — ток срабатывания реле тока комбинированной отсечки;  $x_p$  — сопротивление реактора расчетной питаемой линии, подключенной к защищаемой секции;  $k_n$  — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,3, поскольку он должен учитывать также уменьшение напряжения на защите за счет сопротивления нагрузки.

Коэффициент  $\sqrt{3}$  введен в выражение в связи с тем, что при принятом токе повреждения за реактором  $I_{c,з}$  минимальное напряжение на защите будет при трехфазном металлическом КЗ.

Кроме приведенного выше условия должно учитываться также дополнительное условие, связанное с необходимостью обеспечения термической стойкости реле РН-54/160 и отстройки от напряжения нагрузочного режима:

$$0,2U_{ном} \leq U_{c,з} \leq 0,7U_{ном}. \quad (17)$$

Чувствительность токовых реле комбинированной отсечки проверяется при металлических КЗ между двумя фазами на защищаемой секции шин:

$$k_{ч,т} = I_{K,min}^{(2)} / I_{c,з}, \quad (18)$$

где  $I_{K,min}^{(2)}$  — периодическая слагающая (при  $t=0$ ) тока металлического КЗ при замыкании между двумя фазами на шинах в минимальном режиме;  $I_{c,з}$  — ток срабатывания защиты.

В соответствии с «Правилами устройства электроустановок» минимальный коэффициент чувствительности в этом случае должен быть порядка 1,5.

Чувствительность реле напряжения комбинированной отсечки  $k_{ч,н}$ , как показали проверочные расчеты, получается не менее 2. В связи с этим определение  $k_{ч,н}$  может не производиться.

Первичный ток срабатывания дифференциальной защиты секционного реактора выбирается по двум условиям:

а) отстройки от максимального тока в защите при разрывах ее вторичных цепей в нагрузочном режиме

$$I_{с,з} \geq k_n I_{ном} \quad (19)$$

где  $k_n$  — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,2;  $I_{ном}$  — первичный номинальный ток секционного реактора;

б) отстройки от максимального тока небаланса при переходном режиме внешнего КЗ

$$I_{с,з} \geq k_n I_{нб} \quad (20)$$

где  $k_n=1,3$  — коэффициент надежности, учитывающий ошибку реле и необходимый запас;  $I_{нб}$  — расчетный ток небаланса при внешнем КЗ.

Ток небаланса можно определить по формуле

$$I_{нб} = k_{анер} k_{одн} f_i I_{к,мах} \quad (21)$$

где  $k_{анер}$  — коэффициент, учитывающий переходный режим; при выполнении защиты с использованием реле типа РНТ-565 принимается равным 1;  $k_{одн}$  — коэффициент одиотипности ТТ, принимаемый равным 0,5 при использовании в защите ТТ одного типа;  $f_i$  — полная погрешность ТТ, принимаемая равной 0,1;  $I_{к,мах}$  — периодическая слагающая (при  $t=0$ ) максимального первичного тока, проходящего через ТТ защиты при внешнем трехфазном металлическом КЗ.

Ток срабатывания реле защиты равен

$$I_{с,р} = \frac{I_{с,з}}{K_I} \quad (22)$$

где  $K_I$  — коэффициент трансформации ТТ данной защиты.

Коэффициент чувствительности защиты рассчитывается по выражению

$$k_{ч} = I_{к,min}^{(2)} / I_{с,з} \quad (23)$$

где  $I_{к,min}^{(2)}$  — ток металлического замыкания между двумя фазами на выводах секционного реактора в минимальном режиме — при отсутствии питающих элементов на одной из секций.

Минимальное значение коэффициента чувствительности допускается порядка 2.

Первичный ток срабатывания поэлементной максимальной токовой защиты определяется по условию отстройки от максимального тока нагрузки, проходящего через реактор защищаемого присоединения. Рассматриваются режимы, при которых через реактор проходит повышенный ток нагрузки в результате самозапуска электродвигателей.

Первичный ток срабатывания защиты

$$I_{с,з} = \frac{k_n}{k_{в}} k_{самоз} I_{раб,мах} \quad (24)$$

где  $I_{раб,мах}$  — максимальный ток нагрузки, принимаемый равным номинальному току защищаемого реактора;  $k_{самоз}$  — коэффициент самозапуска, который может достигать величин 2,5—3; большее значение  $k_{самоз}$  рекомендуется для питающих элементов СН;  $k_n$  — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,2—1,3;  $k_{в}$  — коэффициент возврата реле.

При расчетах тока срабатывания защиты по выражению (24) следует рассматривать два режима:

внешнее КЗ в питающих элементах. В этом случае ТТ защиты не обтекаются током повреждения и потому при выборе тока срабатывания рассматриваемой защиты по условию отстройки от тока самозапуска по выражению (24) не должен учитываться коэффициент возврата;

режим отключения КЗ на одной из линий, присоединенных к защищаемому групповому реактору, защитой этой линии, когда максимальная токовая защита реактора должна возвратиться при токах самозапуска двигателей оставшихся в работе линий. В этом режиме при выборе тока срабатывания по выражению (24) необходимо учитывать коэффициент возврата и сниженный ток нагрузки. В качестве расчетного тока срабатывания принимается больший из токов, рассчитанных в этих режимах.

Чувствительность поэлементной токовой защиты определяется по выражению (2), где  $I_{к,min}^{(2)}$  — периодическая слагающая (при  $t=0$ ) тока металлического КЗ между двумя фазами за реактором питаемых линий в минимальном режиме.

В связи с тем что линейные выключатели установлены после защищаемых реакторов, рассматриваемая защита является единственной защитой от повреждений между реактором и выключателями линий. Поэтому должен быть обеспечен коэффициент чувствительности не менее 1,5. Эта

защита, как указано выше, является также резервной по отношению к защита, установленным на линиях.

При повреждениях на отходящих линиях коэффициент чувствительности данной защиты должен быть  $k_{\text{ч}} \geq 1,2$ . Ток срабатывания реле РТ1 в устройстве КРБ-126 во всех случаях принимается минимальным:

$$I_{2c,p} = 0,5A.$$

Для обеспечения термической стойкости устройства КРБ-126 в некоторых случаях возникает необходимость снижения тока в нем при максимальном токе нагрузки секции.

Если

$$\frac{I_{\text{н}} + I_{\text{н,доп}}}{K_I} > 5,5 \text{ A}, \quad (25)$$

то используется автотрансформатор с  $n_{\text{ат}} = 7,5/5$ . При этом ток в устройстве КРБ-126 будет меньше длительно допустимого (5,5 А).

Если  $\frac{I_{\text{н}} + I_{\text{н,доп}}}{K_I} < 5,5 \text{ A}$ , автотрансформатор не устанавливается.

#### Методика выбора уставок защит шинных аппаратов 6—10 кВ

На шинносоединительном выключателе при применении схемы, представленной на рис. 14, устанавливаются две защиты:

- 1) токовая отсечка;
- 2) максимальная токовая защита.

Ток срабатывания токовой отсечки выбирается по условию отстройки от тока, проходящего в ТТ защиты, при трехфазном КЗ за реактором питаемых линий с учетом возможного добавления тока нагрузки питаемой секции:

$$I_{c,з} = k_{\text{н}} (I_{\text{к}} + k_{\text{нагр}} I_{\text{н}}), \quad (26)$$

где  $I_{\text{к}}$  — периодическая слагающая (при  $t=0$ ) максимально возможного первичного тока КЗ при повреждении за реактором одной из линий;  $I_{\text{н}}$  — суммарный ток нагрузки питаемой секции;  $k_{\text{н}}$  — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,2;  $k_{\text{нагр}}$  — коэффициент нагрузки, ориентировочно принимаемый равным 1,3. Коэффициент  $k_{\text{нагр}}$  введен в (26) в связи с тем, что при КЗ за реактором расчет-

ной питаемой линии, отключаемой с выдержкой времени, увеличивается ток нагрузки остальных питаемых линий.

Чувствительность защиты проверяется по (23), где  $I_{\text{к,мин}}^{(2)}$  — периодическая слагающая (при  $t=0$ ) тока металлического КЗ между двумя фазами на резервной системе шин.

Ток срабатывания максимальной токовой защиты устанавливается равным току срабатывания защиты элемента, переводимого на резервную систему шин. При работе с фиксированным распределением элементов защита на ШСВ не вводится в действие.

При применении схемы по рис. 14, в которой содержится только токовая отсечка (действующая с выдержкой времени 0,5 с), уставки этой отсечки выбираются так же, как и для схемы по рис. 13.

На секционном реакторе, как видно из схем, приведенных на рис. 15 и 16, устанавливается токовая отсечка (действующая с выдержкой времени 0,5 с).

Ток срабатывания данной токовой отсечки выбирается из условия отстройки от КЗ за реактором отходящей от шин питаемой линии с учетом тока нагрузки, проходящего в этом режиме через секционный реактор. Расчет суммарного тока КЗ и тока нагрузки можно произвести по упрощенной схеме замещения (рис. 17). Реактанс нагрузки  $x_{\text{н}}$  определяется из условия прохождения через секционный реактор тока нагрузки, соответствующего номинальному току секционного реактора с учетом коэффициента нагрузки в режиме КЗ

$$x_{\text{н}} = \frac{U_{\phi}}{I_{\text{ном}} k_{\text{нагр}}}, \quad (27)$$

где  $U_{\phi}$  — фазное напряжение секционного реактора;  $I_{\text{ном}}$  — номинальный ток секционного реактора;  $k_{\text{нагр}}$  — коэффициент нагрузки, принимаемый равным 1,3.

Определяем расчетный ток, протекающий через ТТ защиты, по выражению

$$I_{\text{расч}} = \frac{U_{\phi}}{x_{\text{сист}} + x_{c,p} + \frac{x_{\text{л,р}} x_{\text{н}}}{x_{\text{л,р}} + x_{\text{н}}}}, \quad (28)$$

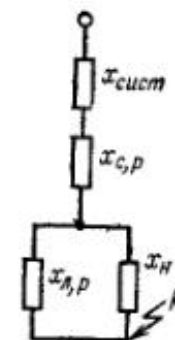


Рис. 17. Схема замещения для расчета токовой отсечки на секционном реакторе

где  $x_{c,p}$ ,  $x_{л,p}$  — сопротивления соответственно секционного и линейного реакторов.

Ток срабатывания отсечки равен

$$I_{c,з} = k_n I_{расч}, \quad (29)$$

где  $k_n$  — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,2.

Чувствительность защиты проверяется по (23), где  $I_{к,min}^{(2)}$  — периодическая слагающая (при  $t=0$ ) тока металлического КЗ между двумя фазами на защищаемой секции.

**Пример.** Выбрать уставки защиты шин и шинных аппаратов для станции со схемой первичных соединений, приведенной на рис. 18. Напряжение шин 10,5 кВ. На каждую из трех секций подсоединено по одному генератору типа ТВФ-120-2, максимальный длительно допустимый ток которого равен  $I_{г,max}=8160$  А. Связь с системой осуществляется двумя трансформаторами 242/10,5 кВ мощностью по 125 МВ·А, присоединенными к крайним секциям. Линии, отходящие от шин 10,5 кВ, реактивны, причем линейные выключатели установлены после реакторов.

Нормальная нагрузка на секцию составляет 1,2 мощности генератора ( $I_n=1,2 \cdot 8160=9800$  А). Дополнительная нагрузка при отключении смежной секции принимается 0,5 нормальной нагрузки ( $I_{н,доп}=0,5 \cdot 9800=4900$  А).

Для выбора уставок защиты шин и шинных аппаратов предварительно производится расчет токов КЗ на этих шинах. Расчет проводится в именованных единицах, приведенных к ступени генераторного напряжения станции (10,5 кВ). Схема замещения прямой (обратной) последовательности приведена на рис. 18.

По выражениям (1)–(5) рассчитываются сопротивления генератора, трансформатора связи, системы 220 кВ, а также электродвигателей. Затем определяется результирующее сопротивление схемы относительно соответствующей точки КЗ (рассмотрены КЗ в точках К-1, К-2, К-3). Затем по выражению (6) определяются значения токов трехфазного КЗ в расчетных точках.

Результаты расчета токов КЗ в точках К-1, К-2, К-3 в различных расчетных режимах, необходимые для выбора уставок защит, приведены в табл. 1.

Расчет неполной дифференциальной защиты шин производится следующим образом.

1. Определяется ток срабатывания токовых реле неполной дифференциальной защиты.

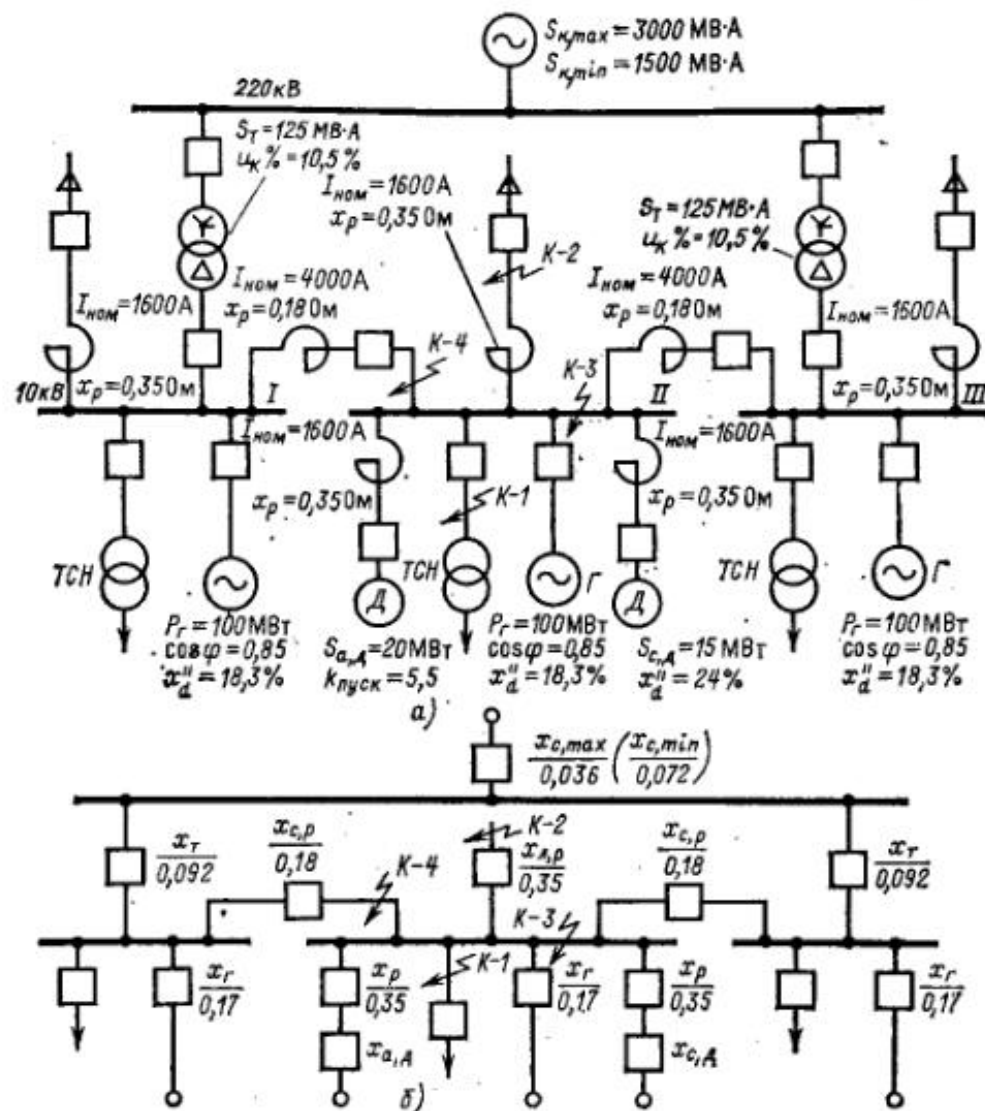


Рис. 18. К расчету тока КЗ:

а — расчетная схема; б — схема замещения

Первичный ток срабатывания рассчитывается по условию отстройки от максимального рабочего тока защищаемой секции по выражению (12):

$$I_{c,з} = \frac{1,2}{0,75} (9,8 + 4,9) = 23,5 \text{ кА};$$

по условию отстройки от тока небаланса и подпитки от электродвигателей для режима внешнего КЗ в точке К-1 при работе всех секций шин 10,5 кВ по выражению (13):

$$I_{c,з} = 1,5 (1 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 81,3) + 0,6 \cdot 5,64 + 1,2 \cdot 3,97 = 20,33 \text{ кА}.$$

Таблица 1

Режим работы станции	Точка КЗ	Результатирующее сопротивление $x_{рез}$ , Ом	Ток трехфазного КЗ $I_K^{(3)}$ , кА
Все питающие элементы включены	К-1	0,075	81,3
	К-2	0,425	14,3
Отключена одна из крайних секций	К-1	0,102	59,3
Опробование защищаемой секции через секционный реактор	К-3	0,253	24

Принимается наибольший из рассчитанных токов срабатывания защиты  $I_{с.з} = 23,5$  кА.

Ток срабатывания реле типа РНТ-567 подсчитывается по выражению (15):

$$I_{с.р} = \frac{23\,500}{10\,000/5} = 11,75 \text{ А.}$$

Определяется число витков обмотки реле РНТ-567

$$W_{расч} = \frac{F_{с.р}}{I_{с.р}} = \frac{100}{11,75} = 8,5 \text{ витка,}$$

где  $F_{с.р} = 100$  А — намагничивающая сила, соответствующая срабатыванию реле.

Принимаем ближайшее меньшее число витков  $\omega = 8$ . При этом ток срабатывания реле

$$I_{с.р} = \frac{F_{с.р}}{\omega} = \frac{100}{8} = 12,5 \text{ А.}$$

Чувствительность неполной дифференциальной защиты определяется по выражению (18) при двухфазных коротких замыканиях в точке К-3 в различных расчетных режимах. Расчет токов КЗ для проверки чувствительности произведен в минимальном режиме работы системы. Ток  $I_K^{(2)}$  подсчитан по выражению (7).

Результаты расчетов токов КЗ и чувствительности приведены в табл. 2.

2. Напряжение срабатывания реле напряжения комбинированной отсечки принимается  $U_{с.з} = 70$  В.

3. Определяется первичный ток срабатывания токовых реле дифференциальной защиты секционного реактора:

по условию отстройки от максимального тока в защите при разрывах вторичных цепей по (19):

$$I_{с.з} > 1,2 \cdot 4 = 4,8 \text{ кА;}$$

Таблица 2

Режим работы станции	Точка КЗ	Результатирующее сопротивление	Ток двухфазного КЗ	$k_{ч}$
Все питающие элементы включены	К-3	0,077	68,1	2,9
Отключен секционный реактор		0,103	51	2,17
Отключен генератор защищаемой секции		0,14	38	1,61

по условию отстройки от максимального тока небаланса при КЗ в точке К-1 по (20) и (21):

$$I_{с.з} > 1,3 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 0,1 \cdot 24 = 1,56 \text{ кА.}$$

Принимается наибольшее из расчетных значений  $I_{с.з} = 4,8$  кА.

Ток срабатывания реле РНТ-565 определяется по выражению (22):

$$I_{с.р} = \frac{4800}{10\,000/5} = 2,4 \text{ А.}$$

Определяется число витков обмотки реле РНТ-565

$$\omega_{расч} = \frac{F_{с.р}}{I_{с.р}} = \frac{100}{2,4} = 41,6 \text{ витка.}$$

Принимается  $\omega = 41$  виток, при этом

$$I_{с.р} = \frac{100}{41} = 2,44 \text{ А.}$$

Чувствительность данной защиты определяется по выражению (18) при двухфазном КЗ в точке К-4 в минимальном режиме (при отключенном генераторе защищаемой секции):

$$k_{ч} = \frac{38\,000}{2,44 \cdot 10\,000/5} = 7,8 > 2.$$

4. Определяется первичный ток срабатывания поэлементной токовой защиты по условию отстройки от проходящего через защищаемый реактор тока самозапуска электродвигателей по выражению (24):

$$I_{с.з} = \frac{1,2 \cdot 2,5}{0,85} \cdot 1,6 = 5,65 \text{ кА.}$$

Ток срабатывания токового реле защиты по (15)

$$I_{с.р} = \frac{5650}{2000/5} = 14,1 \text{ А.}$$

Таблица 3

Режим работы станции	Точка КЗ	Результирующее сопротивление	Ток двухфазного КЗ	$k_q$
Все питающие элементы включены	К-2	0,43	12,9	2,28
Отключен секционный реактор		0,45	11,7	2,07
Отключен генератор защищаемой секции		0,49	10,7	1,9
Питание секции только через один секционный реактор		0,61	8,62	1,52

Принимается реле тока типа РТ-40/20. Результаты проверки чувствительности токовых реле поэлементной защиты сведены в табл. 3.

Проверяем, обеспечена ли термическая стойкость устройства КРБ-126 по выражению (25):

$$\frac{9800 + 4900}{10\,000/5} = 7,35 \text{ А} > 5,5 \text{ А}.$$

Применяем автотрансформатор с  $n_{AT} = 7,6/5$ .

Первичный ток срабатывания устройства КРБ-126 в этом случае можно определить следующим образом, исходя из принятой уставки  $I_{2c,p} = 0,5 \text{ А}$ :

$$I_{c,p1PT}^{(2)} = \sqrt{3} I_{2c,p} n_{AT} K_I = \sqrt{3} \cdot 0,5 \frac{7,6}{5} 10\,000/5 = 2730 \text{ А}.$$

5. Определяется первичный ток срабатывания токовой отсечки на ШСВ по условию отстройки от тока, проходящего в ТТ защиты при трехфазном КЗ за реактором питаемых линий с учетом возможного тока нагрузки питаемой секции, по выражению (26):

$$I_{c,з} = 1,2 (14,3 + 1,3 \cdot 9,8) = 32,4 \text{ кА}.$$

Ток срабатывания реле по (15)

$$I_{c,p} = \frac{32\,400}{10\,000/5} = 16,2 \text{ А}.$$

Чувствительность отсечки проверяется по выражению (23) при двухфазном КЗ в минимальном режиме (отключен генератор защищаемой секции; секционный реактор зашунтирован шиносоединительными выключателями):

$$k_q = \frac{63\,000}{16,2 \cdot 10\,000/5} = 1,94.$$

6. Определяется первичный ток срабатывания отсечки на секционном реакторе по условию отстройки от КЗ за реактором питаемой линии с учетом возможного тока нагрузки, проходящего в этом режиме через секционный реактор, по выражению (29) с учетом (28):

$$I_{c,в} = 1,2 \frac{10,5}{\sqrt{3} \left( 0,259 + \frac{0,35 \cdot 1,17}{0,35 + 1,17} \right)} = 13,8 \text{ кА}.$$

Чувствительность данной отсечки определяется по выражению (23) в режиме опробования секции через секционный реактор:

$$k_q = \frac{20,3}{13,8} = 1,47.$$

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федосеев А. М. Релейная защита электрических систем. — М.: Энергия, 1976. — 560 с.
2. Чернобровов Н. В. Релейная защита. — М.: Энергия, 1974. — 680 с.
3. Беркович М. А., Семенов В. А. Основы техники и эксплуатации релейной защиты. — М.: Энергия, 1971. — 583 с.
4. Руководящие указания по релейной защите. Защита шин 6—220 кВ станций и подстанций. — М.: Госэнергоиздат, 1961. Вып. 3. — 72 с.
5. Церазов А. Л., Васильева А. П., Нечаев Б. В. Электрическая часть тепловых электростанций. — М.: Энергия, 1980. — 328 с.
6. Электрическая часть станций и подстанций/Под ред. А. А. Васильева. — М.: Энергия, 1980. — 608 с.
7. Неклепаев Б. Н. Электрическая часть электростанций. — М.: Энергия, 1976. — 552 с.
8. Правила устройства электроустановок. ПУЭ-76, разд. III, гл. III-2 — М.: Энергоиздат, 1981. — 80 с.
9. Сборник директивных материалов по эксплуатации энергосистем. Электротехническая часть. — М.: Энергоиздат, 1981. — 632 с.