

РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ

ЗАЩИТА
ГЕНЕРАТОРОВ,
РАБОТАЮЩИХ
НА СБОРНЫЕ
ШИНЫ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ

ВЫПУСК 1

ЗАЩИТА ГЕНЕРАТОРОВ, РАБОТАЮЩИХ НА СБОРНЫЕ ШИНЫ

*(СОСТАВЛЕНО ВСЕСОЮЗНЫМ ГОСУДАРСТВЕННЫМ
ПРОЕКТНЫМ ИНСТИТУТОМ „ТЕПЛОЭЛЕКТРОПРОЕКТ“ МСЭС)*



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1961 ЛЕНИНГРАД

В данном выпуске Руководящих указаний по релейной защите рассмотрены схемы защит турбогенераторов и гидрогенераторов напряжением 400/230 в и выше, работающих на сборные шины, и способы расчета этих защит.

В окончательной редакции учтены отзывы энергосистем и проектных организаций, а также решения, принятые на специально созданных Техническим управлением МЭС, МОНТОЭП и Комиссией дальних передач при ЭНИН АН СССР совещаниях под председательством А. М. Федосеева и Е. Д. Зейлидзона (в декабре 1957 г. и октябре 1958 г.), представителей энергосистем и других организаций.

Схемы даны на постоянном и переменном оперативном токе.

В схемах использовано как выпускаемое промышленностью оборудование, так и намечаемое к выпуску в ближайшее время.

Схемы защит гидрогенераторов составлены на основании работы «Руководящие указания по релейной защите гидрогенераторов, работающих на сборные шины (задание Теплоэлектропроекту)» 1958 г., выполненной Ленинградским отделением Гидроэнергопроекта (Сектор релейной защиты и автоматики, нач. сектора Ю. М. Успенский, зам. нач. сектора П. А. Фомин).

При составлении Руководящих указаний использовались разработки ВНИИЭ, Института электротехники АН УССР, Промэнергопроекта и других организаций, а также результаты проведенной для Теплоэлектро-

проекта работы Института электротехники АН УССР (ст. науч. сотрудник И. М. Сирота) по расчету токовой защиты генераторов от двойных замыканий на землю.

Данный выпуск Руководящих указаний разработан институтом «Теплоэлектропроект» (гл. электрик А. Б. Крикунчик), группой типовых работ Сектора релейной защиты и устойчивости: гл. инженер проекта А. Б. Чернин, ст. инженер Б. Я. Смелянская, инженер А. Н. Кожин, ст. инженер С. Б. Лосев (приложение 1), инженер Э. П. Смирнов (§ 8, гл. 3), под общим руководством А. М. Федосеева.

В процессе разработки данного выпуска Руководящих указаний в обсуждении и принятии решений по отдельным вопросам в СРЗиУ ТЭП принимали участие работники проектной группы (гл. инженер проекта В. М. Ермоленко, руководители групп С. Я. Петров и Н. Е. Рыбель) и релейной лаборатории (руководитель лаборатории В. Л. Фабрикант).

Много ценных соображений и рекомендаций по Руководящим указаниям было получено от отдельных работников ряда организаций (Е. Д. Зейлидзон — Союзглавэнерго, Н. В. Виноградов и В. А. Семенов — Мосэнерго, О. Л. Ривкин — Ленэнерго, М. И. Царев — ВНИИЭ, В. И. Дорофеев и М. И. Песочин — Днепрэнерго, Е. С. Габа — Донбассэнерго, Б. А. Хомутов — Новосибирскэнерго, В. Н. Блинова — ОДУ Урала, М. А. Веркович и А. Б. Барзам — ОДУ ЕЭС, Ф. Ф. Дерюгин — Челябэнерго, В. А. Сатаров и Н. С. Кобыкова — Мосэнергопроект, Д. И. Веприк — ЛенТЭП и др.).

6П2.13
Р84

Руководящие указания по релейной защите.

Вып. 1. Защита генераторов, работающих на сборные шины (составлено Всесоюз. Гос. проектным ин-том «Теплопроект» МЭСЭС). М — Л., Госэнергоиздат, 1961.
68 с. черт. и табл.

6П2. 13

Редактор *Б. Я. Смелянская*

Техн. редактор *Н. И. Борунов*

Сдано в набор 13/IX 1960 г.

Подписано к печати 3/XII 1960 г.

T-14945.

Бумага 84×108¹/₁₆.

6,97 печ. л.

Уч.-изд. л. 8,4

Тираж 16 000 экз.

Цена 42 коп.

Зак. 2471

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

УТВЕРЖДАЮ:
Главный инженер
Главэнергопроекта
МСЭС
Н. Чупраков

УТВЕРЖДАЮ:
Главный инженер
Союзглавэнерго
прн Госплане СССР
Д. Котилевский

ПРЕДИСЛОВИЕ

Последнее издание Руководящих указаний по релейной защите (части II и III — Типовые примеры схем и расчетов), выпущенное в 1948 г. в качестве дополнения к директивной части Руководящих указаний 1945 г., в настоящее время устарело и не соответствует действующим директивным материалам по релейной защите (раздел III — «Защита и автоматика» Правил устройства электроустановок 1957 г., решения, эксплуатационные и противоаварийные циркуляры).

Практика проектирования и эксплуатации релейной защиты в последние годы показала, что содержащиеся в Правилах устройства электроустановок общие указания недостаточны для унификации и распространения наиболее передовых решений. В частности, отсутствие конкретных примеров рекомендуемых схем приводило к чрезмерному и необоснованному разнообразию исполнений устройств релейной защиты, в том числе и неоправданно сложных.

Настоящим выпуском возобновляется издание Руководящих указаний в виде типового материала, содержащего основные положения по принципам выполнения релейной защиты, а также конкретные примеры выполнения схем и методику расчета защит.

Руководящие указания по релейной защите подготовлены Институтом «Теплоэлектропроект» и утверждены Главэнергопроектом

Министерства строительства электростанций и Главным энергетическим управлением при Госплане СССР (Союзглавэнерго). Они будут издаваться отдельными выпусками по мере их подготовки к печати.

Настоящие Руководящие указания в основном соответствуют разделу III «Защита и автоматика» Правил устройства электроустановок 1957 г. и директивным материалам. Однако не исключена возможность временных расхождений между Руководящими указаниями и этими документами, которые будут изданы в дальнейшем. В таких случаях обязательными являются Правила и директивные материалы.

Руководящие указания являются рекомендуемыми материалами, которым должны следовать как проектные, так и эксплуатирующие организации с целью максимального применения типовых решений, удешевления и ускорения строительства электроустановок, внедрения в эксплуатацию наиболее совершенных и проверенных опытом решений. Отступления от соответствующих решений, приведенных в Руководящих указаниях, допускаются в тех случаях, когда это обосновано конкретными местными условиями, а также для ранее запроектированных, уже монтируемых или действующих устройств, если эти отступления не ведут к серьезным эксплуатационным недостаткам и не противоречат принципиальному направлению Руководящих указаний.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

СХЕМЫ ЗАЩИТ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ И ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ, ВЫПОЛНЕННЫЕ НА ПОСТОЯННОМ ОПЕРАТИВНОМ ТОКЕ

В настоящей главе рассмотрены типовые схемы релейной защиты генераторов напряжением 3—10 кВ мощностью более 1 до 60 Мвт включительно, работающих на сборные шины (рис. 1—6).

Схемы рис. 1 и 2 даны для турбогенераторов 6—10 кВ мощностью более 1 до 50 Мвт соответственно с соединением обмоток статора в звезду и треугольник.

Схема рис. 3 дана для турбогенератора 10 кВ мощностью 50—60 Мвт с выведенными параллельными ветвями обмотки статора, соединенными в звезду.

Схема рис. 4 дана для турбогенератора 3—10 кВ мощностью более 1 до 6 Мвт включительно с соединением обмотки статора в звезду при применении комплектного распределительного устройства заводского исполнения (шкафы КРУ) и размещения в нем аппаратуры релейной защиты.

Схемы рис. 5 и 6 даны для гидрогенераторов 6—10 кВ мощностью более 1 до 50 Мвт с соединением обмотки статора в звезду соответственно для станций без постоянного дежурства обслуживающего персонала и с постоянным дежурством обслуживающего персонала на щите управления.

Схемы рис. 1—3 даны в предположении наличия на станции двух систем шин, рис. 4—6 — одной системы шин.

А. ПРИНЦИПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ СХЕМ

1. Виды применяемых защит

1) В соответствии с Правилами устройства электроустановок на генераторах предусмотрены следующие виды защит:

а) от многофазных замыканий в обмотке статора;

б) от замыканий на землю в обмотке статора;

в) от замыканий между витками одной фазы в обмотке статора (при наличии выведенных параллельных ветвей обмотки и их соединении в звезду);

г) от перегрузки токами обратной последовательности (превышающими длительно допустимый ток в соответствии с ПТЭ);

д) от внешних коротких замыканий (резервирующая также основные защиты генератора от коротких замыканий);

е) от симметричной перегрузки;

ж) от появления второго замыкания на землю в цепи возбуждения (для турбогенераторов);

з) от замыкания на землю в одной точке цепи возбуждения (для гидрогенераторов);

и) от повышения напряжения в обмотке статора (для гидрогенераторов).

Защиты от многофазных замыканий, замыканий на землю и замыканий между витками одной фазы (по пп. «а»—«в») действуют на отключение выключателя и автомата гашения поля (АГП), а для гидрогенераторов также действуют на остановку турбины и на станциях без постоянного дежурства обслуживающего персонала на щите управления — на ввод автоматического противопожарного устройства.

Защита от перегрузки токами обратной последовательности (по п. «г») действует на сигнал при малых перегрузках и на отключение при больших перегрузках (см. ниже п. 5).

Защиты от внешних коротких замыканий и от повышения напряжения (по пп. «д» и «и») действуют на отключение выключателя и АГП; для гидростанций в зависимости от режима их работы (наличие резерва мощности и др.) допускается действие этих защит также и на остановку турбины.

Защита от симметричной перегрузки (по п. «е») на станциях с обслуживающим персо-

налом действует на сигнал, а на гидростанциях без постоянного дежурства обслуживающего персонала на щите управления защита действует на сигнал, автоматическую разгрузку и, если последняя оказывается неэффективной, на отключение выключателя и АГП.

Защита от появления второго замыкания на землю в цепи возбуждения (по п. «ж») действует на отключение или на сигнал и защита от замыкания на землю в одной точке цепи возбуждения (по п. «з») — на сигнал.

2) Применяемые в соответствии с указаниями (п. 1) схемы защиты турбогенераторов от появления второго замыкания на землю в цепи возбуждения и гидрогенераторов от замыкания на землю в одной точке цепи возбуждения на рис. 1—6 не приведены. Схема защиты турбогенератора от появления второго замыкания на землю в цепи возбуждения дана на рис. 7; схема защиты гидрогенератора от замыкания на землю в одной точке цепи возбуждения дается в разделе «Защита блоков генератор — трансформатор».

3) При выполнении защит от многофазных замыканий и от внешних коротких замыканий (по пп. «а» и «д») двухфазными предусматривается установка трансформаторов тока в фазах А и С в предположении, что в тех же фазах установлены трансформаторы тока для защит сети генераторного напряжения.

2. Защита от многофазных замыканий в обмотке статора

1) В качестве защиты от многофазных замыканий в обмотке статора принята продольная дифференциальная токовая защита без замедления.

В зону действия дифференциальной токовой защиты, помимо генератора, входят также соединения его со сборными шинами.

Продольная дифференциальная токовая защита генератора при наличии на нем защиты от однофазных замыканий на землю в обмотке статора, действующей на отключение, предусматривается в двухфазном исполнении (рис. 1—4 и 6). При этом для обеспечения быстрого отключения двойных замыканий на землю, одно из которых находится в генераторе (на фазе, не имеющей трансформатора тока), в дополнение к дифференциальной защите предусматривается токовая защита нулевой последовательности без замедления от двойных замыканий на землю. Для выполнения этой защиты используются трансформаторы тока нулевой последовательности защиты генератора от однофазных замыканий на землю.

Применение двухфазной дифференциальной защиты в сочетании с токовой защитой нулевой последовательности по сравнению с трехфазной дифференциальной защитой обеспечивает большую чувствительность к двойным замыканиям на землю, а также экономию двух трансформаторов тока. При отсутствии на генераторе защиты от двойных замыканий на землю дифференциальная токовая защита выполняется трехфазной (рис. 5).

2) В рассматриваемых схемах продольная дифференциальная токовая защита выполнена:

с реле типа ЭТ-520 и добавочными сопротивлениями в цепях обмоток реле,

с реле типа РНТ-562, имеющими насыщающиеся трансформаторы.

Добавочное сопротивление в цепи обмотки реле ограничивает величину и увеличивает затухание тока небаланса в реле, обусловленного апериодической составляющей тока в первичной цепи при внешнем коротком замыкании.

При выполнении защиты с реле типа РНТ-562 обеспечивается более совершенная отстройка от токов небаланса, чем в случае более простого исполнения защиты с реле типа ЭТ-520 и добавочными сопротивлениями, в связи с чем применение реле РНТ-562 целесообразно в первую очередь для генераторов относительно большой мощности.

В приведенных схемах в качестве примеров принято выполнение рассматриваемой защиты с реле РНТ-562 в схемах рис. 3 и 5 и с реле ЭТ-520 в схемах рис. 1, 2, 4 и 6.

3) В приведенных схемах для турбогенераторов и гидрогенераторов ГЭС с постоянным дежурством обслуживающего персонала (рис. 1—4 и 6) дифференциальная защита выполнена без устройства контроля исправности вторичных цепей, а для гидрогенераторов ГЭС без постоянного дежурства обслуживающего персонала на щите управления (рис. 5) — с устройством контроля; при этом ток срабатывания защиты принимается (ПУЭ п. III-2-39) большим номинального тока генератора.

Защита гидрогенераторов, учитывая вероятность малых токов внутренних к. з., может выполняться с током срабатывания, меньшим номинального, при обязательном условии выполнения ее с РНТ-562; при этом в случае применения устройства контроля исправности вторичных цепей защиты реле РНТ-562 должно включаться по специальной схеме, предназначенной для этого случая (см. статью В. А. Семенова «О возможности повы-

шения чувствительности продольной дифференциальной защиты генераторов», «Электрические станции», 1958, № 6).

4) В настоящее время отсутствует достаточно надежный метод выбора оптимальной величины добавочных сопротивлений в цепи реле дифференциальной защиты. Применение сопротивлений весьма большой величины не рекомендуется, поскольку при этом возможно: а) возникновение повышенных напряжений во вторичной цепи защиты, опасных для изоляции; б) снижение чувствительности защиты при внутренних коротких замыканиях.

Учитывая, что при номинальном вторичном токе 5 а в настоящее время могут быть использованы только проволочные эмалированные сопротивления ПЭ-150 с сопротивлением 5 ом , в рассматриваемых схемах в целях уменьшения количества последовательно включенных элементов принято ограничение добавочного сопротивления до $5\text{--}10 \text{ ом}$ (вторая цифра для более мощных генераторов).

5) Для снижения тока небаланса в реле защиты следует предусматривать выравнивание сопротивлений плеч защиты соответствующим подбором сечений кабелей вторичных цепей; указанное в большей степени важно при выполнении защиты с реле ЭТ-520.

3. Защита от однофазных замыканий на землю в обмотке статора

1) В схемах рис. 1—4 и 6 согласно Правилам устройства электроустановок предусмотрена действующая на отключение токовая защита от однофазных замыканий на землю в обмотке статора генератора в предположении, что естественный (емкостный) ток замыкания на землю системы генераторного напряжения равен или больше 5 а . В схеме рис. 5 защита от замыканий на землю, действующая на отключение, не предусмотрена в предположении, что емкостный ток замыкания на землю меньше 5 а . В этом случае для сигнализации замыкания на землю в генераторе используется устройство контроля изоляции, устанавливаемое на шинах.

2) Защита от замыканий на землю выполнена с трансформаторами тока нулевой последовательности с подмагничиванием, разработанными АН УССР.

Схемы рис. 1—4 и 6 даны для случая выполнения защиты с трансформаторами тока нулевой последовательности шинного типа (ТНПШ), поскольку генераторы, как правило, соединяются со сборными шинами шинпроводами. Схемы рис. 1—4 и 6 применимы

также и при использовании трансформаторов тока нулевой последовательности кабельного типа с изменениями, отмеченными на соответствующих чертежах.

Для снижения расчетного тока срабатывания защиты, определяемого условием отстройки от внешних повреждений (учет броска емкостного тока генератора при замыканиях на землю и других факторов), в защите предусматривается выдержка времени. Выдержка времени, как правило, принимается порядка $1\text{--}2 \text{ сек}$.

3) В схемах рис. 1—4 и 6 принята токовая защита от замыканий на землю в предположении, что ее ток срабатывания, выбранный по условию отстройки от собственного емкостного тока генератора и тока небаланса (см. гл. 3), не превышает 5 а . Для генераторов с большим собственным емкостным током, при отстройке от которого ток срабатывания защиты получается больше 5 а , в настоящее время не имеется защит, поставляемых заводами.

4) В схемах рис. 1—4 и 6 предусмотрена блокировка, снимающая оперативный ток с реле тока защиты от однофазных замыканий на землю при внешних коротких замыканиях. Указанное необходимо в связи с тем, что при выполнении защиты с трансформатором тока шинного типа токи небаланса, обусловленные несимметричным расположением первичных токопроводов относительно вторичной обмотки, могут достигать при внешних коротких замыканиях значительных величин.

В схемах рис. 1—3 и 6 в качестве блокирующих реле используются реле тока защиты от внешних коротких замыканий. В схеме рис. 4 ввиду отсутствия в защите от внешних коротких замыканий реле тока (см. ниже п. «А», 6) для целей блокировки предусматривается отдельное реле, приключенное к специальной блокировочной обмотке, помещенной на магнитопроводах трансформатора тока нулевой последовательности.

Следует отметить, что с точки зрения повышения надежности блокировки защиты от однофазных замыканий на землю при внешних коротких замыканиях, предотвращения прохождения через реле больших токов при двойных замыканиях на землю, а также некоторого повышения чувствительности защиты (возможность не учитывать $k_{\text{в}}$) было бы целесообразно при действии блокировки дополнительно предусматривать также шунтирование реле тока защиты. Однако в связи с присоединением к трансформатору тока ну-

левой последовательности рассматриваемой защиты и защиты от двойных замыканий на землю в схемах рис. 1—4 и 6 не предусматривается действие блокировки на шунтирование реле защиты от однофазных замыканий на землю. Указанное обусловлено тем, что при осуществлении шунтирования возможно значительное увеличение тока небаланса в реле защиты от двойных замыканий на землю при внешних коротких замыканиях в связи с резким уменьшением сопротивления вторичной цепи.

5) При выполнении защиты с трансформаторами тока нулевой последовательности кабельного типа токи небаланса, обусловленные несимметричным расположением первичных токопроводов относительно вторичной обмотки, имеют значительно меньшие величины, чем при трансформаторах тока шинного типа. В связи с этим в схемах с кабельными трансформаторами тока блокировка защиты от замыканий на землю при внешних коротких замыканиях не предусматривается (см. примечание к рис. 1, 2 и 4).

6) Трансформаторы тока рассматриваемой защиты установлены непосредственно у выводов генератора для исключения из зоны действия защиты шинопроводов и кабелей, соединяющих генератор со сборными шинами. При таком расположении трансформаторов тока предотвращается отключение генератора в случае замыканий на землю в указанных соединениях и, кроме того, для генераторов с кабельными выводами уменьшается величина емкостного тока, от которого защита должна быть отстроена. Замыкания на землю в токопроводах, соединяющих генератор со сборными шинами, сигнализируются устройством контроля изоляции, предусмотренным на шинах.

7) В схеме рис. 1—4 и 6 для питания цепей подмагничивания трансформатора тока нулевой последовательности, цепей защиты и измерительных приборов предусмотрен один трансформатор напряжения в предположении, что его нагрузка не превышает допустимую. В тех случаях, когда нагрузка превышает допустимую, следует для питания измерительных приборов предусматривать отдельный трансформатор напряжения.

8) В приведенных схемах в целях упрощения не предусматривается специальный контроль исправности цепи подмагничивания, учитывая, что обрыв этой цепи не приводит к неселективному действию защиты, а влечет за собой лишь ее загроубление (см. гл. 3).

9) В схемах защиты турбогенераторов по

рис. 1—3 предусмотрен вольтметр, предназначенный для ориентировочного выяснения места замыкания на землю в обмотке статора при подъеме напряжения с нуля, производимого после отключения генератора от сборных шин защитой от замыканий на землю. Вольтметр приключен к соединенной в разомкнутый треугольник обмотке пятистержневого трансформатора напряжения. В схеме защиты турбогенератора по рис. 4, выполненной для случая распределительного устройства заводского исполнения (КРУ), в целях экономии места указанный вольтметр не предусматривается. В схемах защит гидрогенераторов рис. 5 и 6 в целях упрощения вольтметр не устанавливается.

4. Защита от замыканий между витками одной фазы в обмотке статора (при наличии выведенных параллельных ветвей обмотки и их соединении в звезду)

1) В качестве защиты от замыканий между витками одной фазы в обмотке статора для генераторов с выведенными параллельными ветвями предусматривается односистемная поперечная дифференциальная токовая защита, действующая без замедления и выполненная с помощью реле тока, приключенного к трансформатору тока, установленному в соединении между нейтральными параллельных ветвей обмотки статора (рис. 3). В целях повышения надежности действия реле тока защиты приключается к трансформатору тока через фильтр, предотвращающий попадание в реле высших гармоник (реле типа ЭТ-521/ф).

Следует отметить, что защита может действовать в ряде случаев и при замыканиях между фазами.

2) Рассматриваемая защита может действовать при замыканиях на землю в двух точках цепи возбуждения из-за возникновения при этом искажения результирующего магнитного потока, обуславливающего неравенство токов параллельных ветвей обмотки статора. В связи с этим для предотвращения нежелательного действия защиты на отключение генератора при кратковременных переходящих замыканиях на землю в двух точках цепи возбуждения предусматривается перевод ее на действие с выдержкой времени порядка 0,5—1 сек при появлении замыкания на землю в одной точке цепи возбуждения.

3) При применении односистемной поперечной дифференциальной защиты по рис. 3 трансформаторы тока продольной дифференциальной защиты, установленные со стороны

нейтрали генератора, должны иметь две первичные обмотки. При этом используются стандартные трансформаторы тока шинного типа (ТПШФД), первичные обмотки которых выполняются в виде двух изолированных друг от друга пакетов шин, и каждый из пакетов рассчитывается на длительное протекание тока, равного половине номинального тока генератора. Изоляция между пакетами шин выбирается из условий механической прочности, так как напряжение между ними практически равно нулю.

5. Защита от перегрузки токами обратной последовательности

В качестве защиты от перегрузки токами обратной последовательности, могущими привести к повреждению генератора, целесообразно применение защиты с зависимой характеристикой, соответствующей кривой $t_{доп} = f(I_2)$ (см. гл. 3), с действием на отключение в сочетании с чувствительной токовой защитой обратной последовательности с независимой выдержкой времени, действующей на сигнал. Указанное должно относиться в первую очередь к генераторам большой мощности, в особенности имеющим форсированное охлаждение.

Однако в настоящее время такое устройство промышленностью не изготавливается. В связи с этим защита от перегрузки токами обратной последовательности в схеме рис. 3 для генератора мощностью 50—60 Мвт осуществляется:

— токовой защитой обратной последовательности с независимой выдержкой времени, действующей на сигнал при появлении токов обратной последовательности, превышающих длительно допустимый в соответствии с ПТЭ;

— токовой защитой от внешних несимметричных коротких замыканий по п. «д» § 1, действующей на отключение; указанная защита имеет при этом ток срабатывания, соответствующий по кривой $t_{доп} = f(I_2)$ времени, в течение которого режим, обуславливающий недопустимый для генератора ток обратной последовательности, может быть ликвидирован персоналом.

Обе рассматриваемые защиты выполняются с помощью одного устройства РТ-2.

Защита от перегрузки токами обратной последовательности действует на то же реле времени, что и защита от симметричной перегрузки. Такое выполнение сигнализации имеет некоторый недостаток, так как при этом не различаются сигналы от токов сим-

метричной перегрузки и токов обратной последовательности. Для определения наличия и величины тока обратной последовательности целесообразно в цепи реле предусматривать миллиамперметр.

6. Защита от внешних коротких замыканий (резервная защита)

1) Защита от внешних коротких замыканий выполняет также функции резервирования основных защит генератора от коротких замыканий.

В рассматриваемых схемах принято выполнение защиты по одному из следующих вариантов:

а) токовая защита обратной последовательности с приставкой для действия при симметричных повреждениях — рис. 3;

б) максимальная токовая защита с комбинированным пуском напряжения, выполненным с одним реле напряжения обратной последовательности и одним реле, включенным на междуфазное напряжение (по предложению Мосэнерго) — рис. 1, 2, 5 и 6;

в) минимальная защита напряжения (с тремя реле напряжения) — рис. 4.

2) Токовая защита обратной последовательности предусмотрена для генератора — рис. 3.

Токовая защита обратной последовательности имеет следующие достоинства:

а) непосредственно реагирует на весьма опасные для генераторов токи обратной последовательности (при отсутствии специальной защиты от перегрузки токами обратной последовательности с зависимой характеристикой выдержки времени, действующей на отключение);

б) обладает высокой чувствительностью к несимметричным повреждениям;

в) чувствительность защиты при несимметричном повреждении за трансформатором не зависит от группы соединения обмоток последнего;

г) представляется возможным выполнить в одном устройстве рассматриваемую защиту от внешних коротких замыканий и чувствительную защиту от перегрузки током обратной последовательности, действующую на сигнал.

В приведенных схемах токовая защита обратной последовательности (с реле РТ-2) предусмотрена для генератора мощностью 50—60 Мвт (рис. 3). Представляется целесообразным в дальнейшем распространить область применения токовой защиты обратной

последовательности и на генераторы меньшей мощности с использованием, в частности, устройства фильтр-реле тока обратной последовательности типа РТФ-1 (не содержащего чувствительного реле тока) или устройства, аналогичного РТ-2 (с двумя реле тока).

Для действия при трехфазных коротких замыканиях предусмотрено реле тока, включенное на фазный ток, и минимальное реле напряжения, включенное на междуфазное напряжение. Напряжение срабатывания реле напряжения защиты турбогенераторов в связи с необходимостью отстройки от режима самозапуска двигателей, а также от асинхронного режима, возникающего при потере возбуждения, принимается равным $(0,5—0,6)U_{ном}$. Для гидрогенераторов в связи с тем, что асинхронный режим при потере возбуждения для них не допускается (см. п. «А», 11), напряжение срабатывания принимается равным $(0,6—0,7)U_{ном}$.

3) В схемах рис. 1, 2, 5 и 6 для генераторов мощностью менее 50 Мвт принята максимальная токовая защита с комбинированным пуском напряжения. В указанных схемах пусковой орган напряжения содержит устройство фильтр-реле напряжения обратной последовательности (реле РНФ-1), в цепи размыкающего контакта которого предусмотрено минимальное реле напряжения, включенное на междуфазное напряжение, для действия при симметричных повреждениях.

Преимуществами рассматриваемой защиты по сравнению с широко применяемой до настоящего времени максимальной токовой защитой с минимальным пуском напряжения с тремя реле, включенными на междуфазные напряжения, являются:

а) более высокая чувствительность элемента напряжения при несимметричных коротких замыканиях;

б) независимость чувствительности элемента напряжения при несимметричном повреждении за трансформатором от группы соединения обмоток последнего;

в) несколько большая чувствительность к симметричным коротким замыканиям, обусловленная тем, что значение коэффициента возврата минимального реле напряжения, как правило, не влияет на работу защиты, поскольку симметричные повреждения обычно сопровождаются кратковременным появлением напряжения обратной последовательности.

Ток срабатывания реле тока защиты выбирается по условию отстройки от номинального тока генератора. Напряжение срабатывания обратной последовательности реле

РНФ-1 должно быть отстроено от напряжения небаланса нормального режима (минимальная уставка реле РНФ-1 6 в междуфазных). Напряжение срабатывания реле, включенного на междуфазное напряжение, определяется исходя из тех же условий, что и для минимального реле напряжения защиты по п. 2.

4) Минимальная защита напряжения (с тремя реле напряжения) предусмотрена для генератора малой мощности (рис. 4) в предположении, что в цепях трансформатора напряжения, питающего рассматриваемую защиту, на стороне высшего напряжения предохранители отсутствуют, а на стороне низшего напряжения взамен предохранителей предусмотрен автомат, при срабатывании которого защита выводится из действия. Этим предотвращается отключение генератора от резервной защиты при коротких замыканиях во вторичных цепях трансформатора напряжения.

Такое выполнение резервной защиты — с тремя реле напряжения и без реле тока — целесообразно для схемы рис. 4 в целях экономии места в КРУ, где размещается аппаратура релейной защиты.

Напряжение срабатывания защиты определяется из тех же условий, что и для минимального реле напряжения защиты по п. 2.

Следует отметить, что и в схемах рис. 1—3, 5 и 6 взамен предохранителей, предусмотренных на стороне низшего напряжения трансформатора напряжения, также могут быть установлены автоматы.

5) Схемы резервных защит (рис. 1—6) выполнены с сигнализацией при повреждениях цепей напряжения трансформаторов напряжения.

6) Максимальная токовая защита с комбинированным пуском напряжения выполнена с тремя реле тока (рис. 1, 2, 5 и 6). Уставка трех реле тока, а не двух предусмотрена в целях повышения чувствительности защиты к замыканиям между двумя фазами за трансформатором с соединением $Y/\Delta-11$.

7) В схемах рис. 1—6 защита от внешних коротких замыканий выполнена с двумя выдержками времени; при этом с первой выдержкой времени защита действует на отключение шиносоединительного выключателя и секционных выключателей смежных секций и со второй — на отключение генератора.

Такое выполнение позволяет сохранить в работе неповрежденные секции, отделившиеся друг от друга, в случаях:

а) короткого замыкания на шинах при выведении из действия или отказе защиты

шин генераторного напряжения (рис. 1—3, 5 и 6), а также при отсутствии такой защиты (рис. 4);

б) короткого замыкания в трансформаторе (когда защита генератора чувствительна к указанному повреждению) и отказа его защиты или выключателя на стороне генераторного напряжения — рис. 1—6.

8) В схеме рис. 5 защита гидрогенератора от внешних коротких замыканий дана в качестве примера выполнения ее для случая, когда в целях повышения чувствительности максимальная токовая защита с пуском напряжения повышающих трансформаторов предусматривается с дополнительным пуском от реле тока защит от внешних коротких замыканий генераторов. Повышение чувствительности защиты трансформаторов может потребоваться в ряде случаев для станций с несколькими трансформаторами и генераторами при коротких замыканиях на шинах за повышающими трансформаторами в режиме, когда один из генераторов отключен.

7. Защита от симметричной перегрузки

В схемах рис. 1—6 в качестве защиты от симметричной перегрузки предусмотрена максимальная токовая защита, использующая ток одной фазы. Защита действует на сигнал с выдержкой времени.

В схеме рис. 5 для гидрогенератора станции без постоянного дежурства обслуживающего персонала на щите управления дополнительно к защите, действующей на сигнал, предусматривается устройство автоматической разгрузки, разработанное ОАТН Гидроэнергопроекта. Указанное устройство в случае, когда разгрузка оказывается неэффективной, действует на отключение генератора через реле времени.

8. Защита от появления второго замыкания на землю в цепи возбуждения

Защита цепей возбуждения турбогенераторов от появления второго замыкания на землю (рис. 7) предусматривается в одном комплекте на всю станцию, устанавливается на переносной панели и включается в работу только при появлении устойчивого замыкания на землю в одной точке цепи возбуждения.

Рассматриваемая защита в зависимости от ответственности генератора и режима работы станции (наличие резерва и др.) выполняется с действием на отключение или

на сигнал. Для турбогенераторов с наборными зубцами роторов, проволочными бандажами, повышенной вибрацией защита должна выполняться с действием только на отключение.

9. Защита от повышения напряжения

Защита гидрогенераторов от повышения напряжения выполняется в виде защиты максимального напряжения с выдержкой времени (рис. 5 и 6). Напряжение срабатывания принимается порядка $(1,5—1,7) U_{ном}$, выдержка времени — порядка 0,5 сек.

10. Расстановка указательных реле и отключающих устройств

1) В выходных цепях каждой из защит, действующих на выходные промежуточные реле, предусматриваются серийные указательные реле, сигнализирующие действие этих защит. Типы указательных реле в схемах рис. 1—7 даны для случая, когда напряжение оперативного постоянного тока равно 220 в.

Для контроля срабатывания выходных промежуточных реле последние предусматриваются со встроенным указателем срабатывания (реле типа РП-24).

2) В схемах защит турбогенераторов от контактов указательных реле подается сигнал «указатель реле не поднят».

В схемах защит гидрогенераторов контакты указательных реле используются для аварийной сигнализации действия защит. Такое использование указательных реле защит гидрогенераторов мотивируется тем, что на гидростанциях, работающих в основном без постоянного дежурства обслуживающего персонала на щите управления, применяются ключи управления без фиксации положений с возвратом в нулевое положение, в то время как на тепловых станциях, на которых имеется постоянный дежурный персонал, как правило, применяются ключи управления с фиксацией положений; ввиду этого аварийный сигнал отключения выключателя на тепловых станциях целесообразно выполнять на принципе несоответствия положений выключателя и ключа управления.

3) Для обеспечения надежной работы указательных реле, включенных в цепь каждой из защит, в случае одновременного действия нескольких защит на одно выходное промежуточное реле (например, дифференциальной защиты и защиты от двойных замыканий на землю) в схемах предусмотрено добавочное

сопротивление, включенное параллельно обмотке выходного промежуточного реле.

4) Отключающие устройства для выведения защиты эксплуатационным персоналом предусмотрены:

а) в цепи отключения генератора от дифференциальной защиты при выполнении ее с устройством контроля исправности цепей;

б) в цепи отключения генератора от защиты от внешних коротких замыканий при выполнении последней с пуском напряжения — для выведения защиты при обрыве цепей напряжения в целях предотвращения ее неправильного действия;

в) в цепях отключения от защиты от внешних коротких замыканий шиносоединительного выключателя и секционных выключателей смежных секций, поскольку они могут выводиться дежурным персоналом в процессе эксплуатации.

5) В целях облегчения эксплуатационных проверок и испытаний защит, которые производятся на отключенном генераторе, в цепях отключения от выходного промежуточного реле должны предусматриваться разъемные зажимы. Такие же разъемные зажимы должны предусматриваться в цепи защиты от замыкания на землю для удобства выведения защиты на время устранения обрыва в цепи подмагничивания.

В цепях защит генераторов испытательные блоки не предусматриваются, поскольку принимается, что испытание этих защит на работающем генераторе, как правило, не производится.

Для удобства проведения проверки дифференциальной защиты током короткого замыкания в плечах защиты должны предусматриваться разъемные зажимы.

11. Дополнительные указания по выполнению схем защит генераторов

1) В схемах защит турбогенераторов рис. 1—4 предусмотрена возможность отключения генератора при потере возбуждения, вызванной случайным действием устройства АГП для тех случаев, когда недопустима длительная работа генератора без возбуждения (если генератор имеет составной ротор или ротор с проволочными бандажами), а также когда система не может покрывать дефицит реактивной мощности, вызванный потерей возбуждения рассматриваемого генератора.

Для гидрогенераторов режим работы при потере возбуждения нежелателен, а потому в схемах рис. 5 и 6 предусмотрено отключе-

ние генератора в указанном режиме (в отличие от схем для турбогенераторов в цепи отключения выключателя от АГП отсутствует отключающее устройство).

2) Схемы защит генераторов выполнены в предположении применения АГП, имеющего дугогасительную решетку, с учетом следующего¹:

а) Для турбогенераторов мощностью до 12 Мвт включительно гашение поля осуществляется разрывом цепи обмотки возбуждения генератора главными контактами АГП.

б) Для турбогенераторов мощностью 25—60 Мвт гашение поля осуществляется разрывом цепи обмотки возбуждения генератора главными контактами АГП и дешунтированием сопротивления в цепи обмотки возбуждения возбудителя контактором, включаемым блок-контактами АГП.

в) Для гидрогенераторов гашение поля осуществляется аналогично указанному в п. «б»; при этом принимается, что автомат гашения поля не является оперативным аппаратом и отключается только при действии защит и что при самосинхронизации оперируют с контактором, дешунтирующим сопротивление в цепи обмотки возбуждения возбудителя.

В схемах защит гидрогенераторов (рис. 5 и 6) предусматривается подача импульса на гашение поля возбудителя при отключении выключателя в целях подготовки схемы к операции самосинхронизации.

Б. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ СХЕМ ЗАЩИТ РИС. 1—7

Схема защиты турбогенератора 6—10 кВ мощностью более 1 до 50 Мвт с соединением обмотки статора в звезду (рис. 1)

1) Дифференциальная токовая защита выполнена двухфазной с реле типа ЭТ-520 (8РТ, 9РТ) и добавочными сопротивлениями (37СД—40СД) в цепях обмоток реле.

2) Защита от внешних коротких замыканий выполнена в виде максимальной токовой защиты (реле тока 13РТ—15РТ) с пусковым органом напряжения, состоящим из устройства фильтр-реле напряжения обратной последовательности 16РНФ и минимального реле напряжения 17РН, включенного на междофазное напряжение.

¹ В соответствии с «Техническим заданием заводам на разработку комплектов шкафов гашения поля генераторов на базе новой серии автоматов гашения поля», составленным ТЭП, ГИДЭП, ПЭП, Гидропроект и утвержденным Главэлектропроектом МЭС в 1959 г.

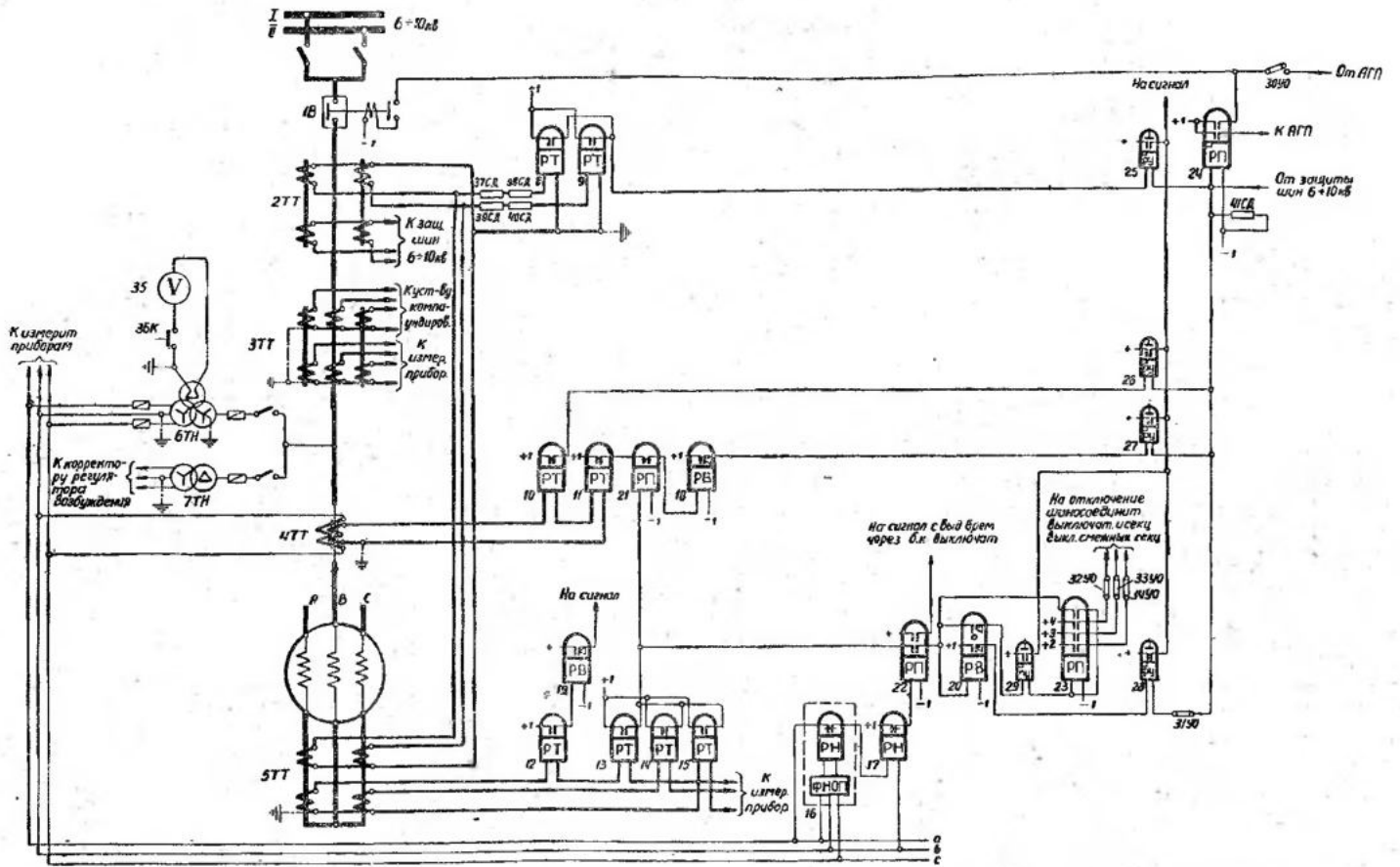


Рис. 1. Схема защиты турбогенератора 6—10 кВ мощностью более 1 до 50 Мвт с соединением обмотки статора в звезду.

1В—выключатель; 2ТТ, 3ТТ, 5ТТ— трансформаторы тока; 4ТТ—трансформатор тока нулевой последовательности типа ТНПШ; 6ТН, 7ТН— трансформаторы напряжения; 8РТ—10РТ, 12РТ—15РТ— реле тока типа ЭТ-521; 11РТ— реле тока типа ЭТД-551/50; 16РНФ—фильтр-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1; 17РН— реле напряжения типа РН-529/160; 18РВ— реле времени типа ЭВ-124-А; 19РВ— реле времени типа ЭВ-133-А; 20РВ— реле времени типа ЭВ-132-А; 21РП—23РП— реле промежуточные типа РП-23; 24РП— реле промежуточное типа РП-24; 25РУ—28РУ— реле указательные серийные типа ЭС-21/0,025; 29РУ— реле указательное серийное типа ЭС-21/0,015; 30УО—34УО— устройства отключающие типа НКР-2; 35В— вольтметр; 36К— кнопка; 37СД—40СД— сопротивления добавочные 5 ом типа ПЭ-150; 40СД— сопротивление добавочное 4500 ом типа ПЭ-5.

Примечание. При выполнении защиты от замыканий на землю с кабельным трансформатором тока, в нулевом (4ТТ) в схеме исключается реле 21РП, а реле 11РТ принимается типа ЭТД-551/60 или ЭТ-521/0,2 в зависимости от требований чувствительности.

Защита выполнена с сигнализацией нарушения цепей напряжения, осуществляемой с помощью промежуточного реле *22РП*, запускаемого от минимального реле напряжения.

Промежуточное реле *23РП*, предусмотренное для разделения секций (или систем) шин генераторного напряжения при действии защиты от внешних коротких замыканий с первой выдержкой времени, выполнено с самоудерживанием в целях обеспечения надежного отключения выключателя от временно замыкающего контакта реле времени *20РВ*. Учитывая, что секционный и шиносоединительный выключатели шин генераторного напряжения могут быть медленнодействующими (например, выключатели типа *МГГ-229*), а также, что осуществление самоудерживания не требует установки промежуточного реле специально для этой цели, выполнение его в схеме целесообразно.

3) Защита от однофазных замыканий на землю выполнена с реле тока *11РТ*, приключенным к трансформатору тока нулевой последовательности шинного типа *4ТТ*. Блокировка этой защиты при внешних коротких замыканиях осуществляется с помощью трех реле тока (*13РТ—15РТ*) максимальной токовой защиты с пуском напряжения и промежуточного реле *21РП*.

К трансформатору тока нулевой последовательности приключена также защита от двойных замыканий на землю (реле *10РТ*).

4) Защита от симметричной перегрузки выполнена с реле тока *12РТ* и реле времени *19РВ*.

Схема защиты турбогенератора 6 кВ мощностью более 1 до 50 Мвт с соединением обмотки статора в треугольник (рис. 2)

Рассматриваемая схема отличается от схемы рис. 1 использованием для дифференциальной защиты и максимальной токовой защиты трансформаторов тока *5ТТ* в трех фазах и соединением их в треугольник.

Соединение в треугольник трансформаторов тока дифференциальной защиты требуется для ликвидации сдвига по фазе ее вторичных токов. При этом коэффициенты трансформации трансформаторов тока *2ТТ* и *5ТТ* дифференциальной защиты должны быть одинаковыми.

Соединение в треугольник трансформаторов тока максимальной токовой защиты при выполнении ее с тремя реле тока предусмотрено для повышения чувствительности при замыканиях между двумя фазами за трансформатором с соединением Y/Δ -11

(рис. 8); кроме того, при таком соединении не требуется переправировка измерительных приборов.

Схема защиты турбогенератора 10 кВ мощностью 50—60 Мвт с выведенными параллельными ветвями обмотки статора, соединенными в звезду (рис. 3)

1) Продольная дифференциальная токовая защита выполнена с реле с насыщающимися трансформаторами типа *РНТ-562 (9РТН, 10РТН)*.

2) Предусмотренная в схеме односистемная поперечная дифференциальная токовая защита выполнена с реле тока *15РТФ* и реле времени *21РВ*. Защита переводится на действие с выдержкой времени при приключении защиты цепи возбуждения в случае появления в этой цепи одной земли.

3) Защита от внешних коротких замыканий выполнена в виде токовой защиты обратной последовательности (*16РТФ, 20РВ*) с приставкой для действия при трехфазных коротких замыканиях (*14РТ, 17РН*). Защита выполнена с сигнализацией нарушения цепей напряжения, осуществляемой с помощью промежуточного реле *22РП*.

Промежуточное реле *23РП*, предусмотренное для разделения секций (или систем) шин генераторного напряжения при действии защиты от внешних коротких замыканий с первой выдержкой времени, выполнено с самоудерживанием по аналогии со схемой рис. 1.

4) Защита от однофазных замыканий на землю и от двойных замыканий на землю выполнена с использованием трансформатора тока нулевой последовательности шинного типа *4ТТ* (реле *12РТ, 18РВ* и реле *11РТ*). Для осуществления блокировки защиты от однофазных замыканий на землю при внешних коротких замыканиях предусматривается разрыв цепи постоянного тока защиты с помощью последовательно включенных двух размыкающих контактов реле тока *14РТ* и реле времени (контакт без замедления) *20РВ*. Следует отметить, что в связи с использованием в схеме размыкающего контакта реле тока типа *ЭТ-523* нежелательно, с точки зрения надежности работы контакта, иметь уставку в начальной части шкалы реле.

5) Защита от симметричной перегрузки выполнена с помощью реле тока *13РТ* и реле времени *19РВ*, от перегрузки токами обратной последовательности — с реле *16РТФ* и *19РВ*.

6) В целях повышения надежности защиты от внешних повреждений измерительные

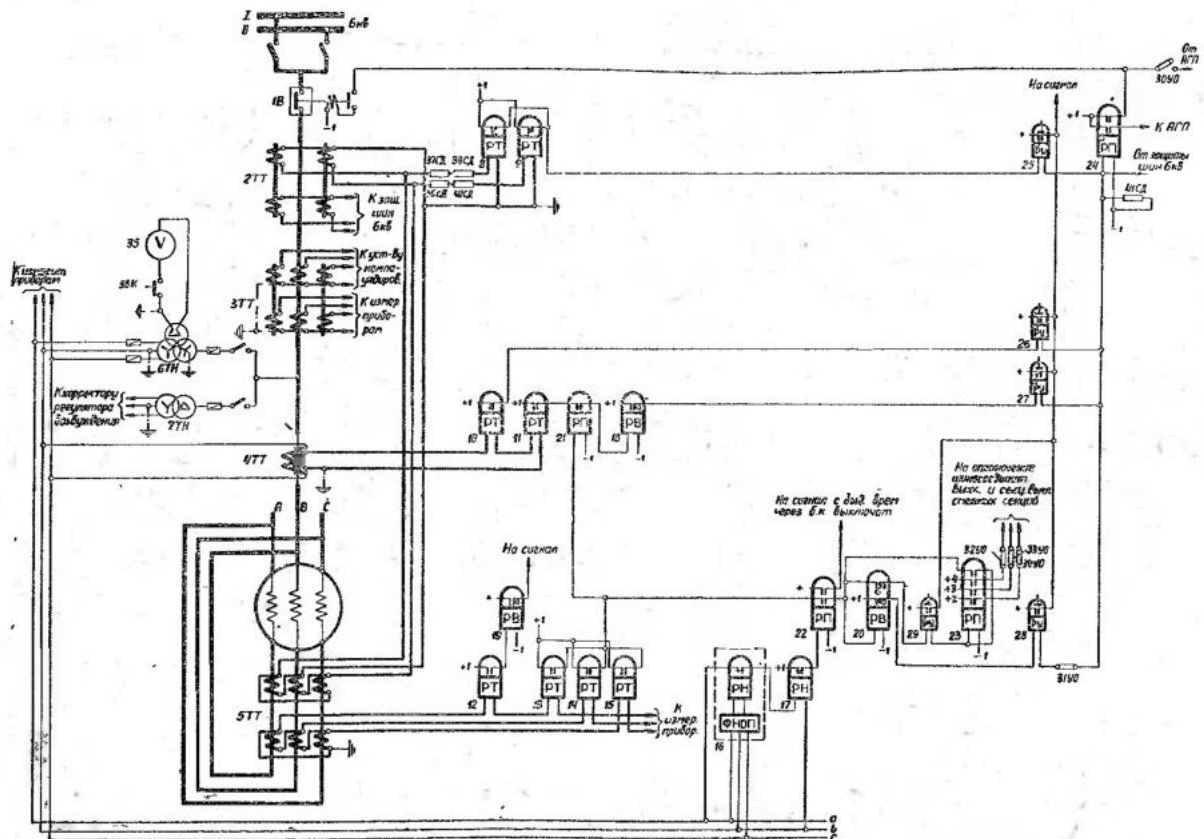


Рис. 2. Схема защиты турбогенератора 6 кв мощностью более 1 до 50 Мвт с соединением обмотки статора в треугольник. 1В—выключатель; 2ТТ, 3ТТ, 4ТТ—трансформаторы тока; 4ТТ—трансформатор тока нулевой последовательности типа ТНШН; 6ТН, 7ТН—трансформаторы напряжения; 8РТ—10РТ, 12РТ—15РТ—реле тока типа ЭТ-521; 11РТ—реле тока типа ЭТД-551/60; 16РНФ—фильтр-реле напряжения обрточной последовательности типа РНФ-1; 17РН—реле напряжения типа ЭН-529/160; 18РВ—реле времени типа ЭВ-124-А; 19РВ—реле времени типа ЭВ-133-А; 20РВ—реле времени типа ЭВ-132-А; 21РП—22РП—реле промежуточные типа РП-23; 24РП—реле промежуточное типа РП-24; 25РУ—26РУ—реле указательные серийные типа ЭС-21/0,325; 29РУ—реле указательное серийное типа ЭС-21/0,015; 30УО—34УО—устройства отключающие типа НКР-2; 35V—вольтметр; 36К—кнопка; 37СД—40СД—сопротивления добавочные 5 ом типа П9-150; 41СД—сопротивление добавочное 4500 ом типа П9-50. Примечание. При выполнении защиты от замыканий на землю с кабельным трансформатором тока, а не шинным (4ТТ) в схеме исключается реле 21РП, а реле 11РТ принимается типа ЭТД-551/60 или ЭТ-521/0,2 в зависимости от требований чувствительности.

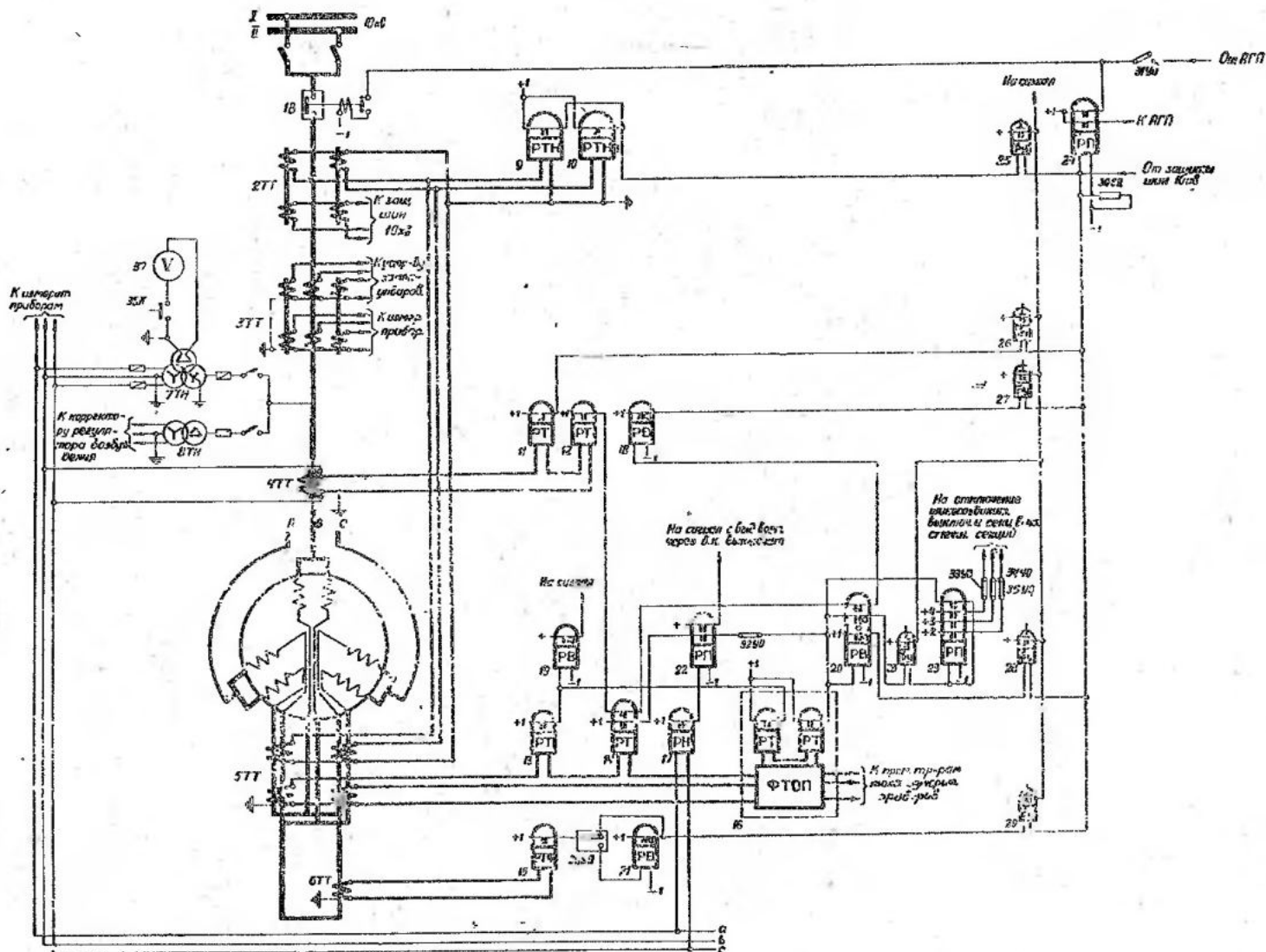


Рис. 3. Схема защиты турбогенератора 10 кВ мощностью 50—60 Мвт с выведенными параллельными ветвями обмотки статора, соединенными в звезду.

1В—выключатель; 2ТТ, 3ТТ, 5ТТ—трансформаторы тока; 4ТТ—трансформатор тока нулевой последовательности типа ТНЦШ; 6ТТ—трансформатор тока; 7ТН, 8ТН—трансформаторы напряжения; 9РТН, 10РТН—реле тока с насыщающимися трансформаторами типа РНТ 562; 11РТ, 13РТ—реле тока типа ЭТ-521; 12РТ—реле тока типа ЭТД-551/60; 14РТ—реле тока типа ЭТ-523; 15РТФ—реле тока типа ЭТ-521/Ф; 16РТФ—фильтр-реле тока обратной последовательности типа РТ-2; 17РН—реле напряжения типа ЭН-520/160; 18РВ, 21РВ—реле времени типа ЭВ-124-А; 19РВ—реле времени типа ЭВ-133-А; 20РВ—реле времени типа ЭВ-132-А; 22РП, 23РП—реле промежуточные типа РП-23; 24РП—реле промежуточное типа РП-24; 27РУ—29РУ—реле указательные серийные типа ЭС-21/0,05; 30РУ—реле указательное серийное типа ЭС-21/0,015; 31УО—35УО—устройства отключающие типа НКР-2; 36УП—устройство переключающее типа НКР-2; 37V—вольтметр; 38K—кнопка; 39СД—сопротивление добавочное 1000 Ом типа ПЭ-50.

приборы, питаемые от тех же трансформаторов тока, приключаются через промежуточные трансформаторы тока; при этом предполагается, что нагрузка на трансформаторы тока 5ТТ не превышает допустимую по требованиям точности работы измерительных приборов. В противном случае для измерительных приборов должны предусматриваться отдельные трансформаторы тока.

7) В рассматриваемой схеме добавочное сопротивление 39СД, шунтирующее выходное промежуточное реле 24РП, выбрано с учетом возможного одновременного действия трех защит при двойном замыкании на землю — про-

дольной дифференциальной, поперечной дифференциальной и токовой защиты нулевой последовательности (в отличие от других схем, где возможно одновременное действие только двух защит).

Схема защиты турбогенератора 3—10 кВ мощностью более 1 до 6 Мвт включительно с соединением обмотки статора в звезду — вариант выполнения при применении КРУ (рис. 4)

1) Схема дана для случая выполнения распределительного устройства генераторного напряжения с помощью шкафов КРУ, в кото-

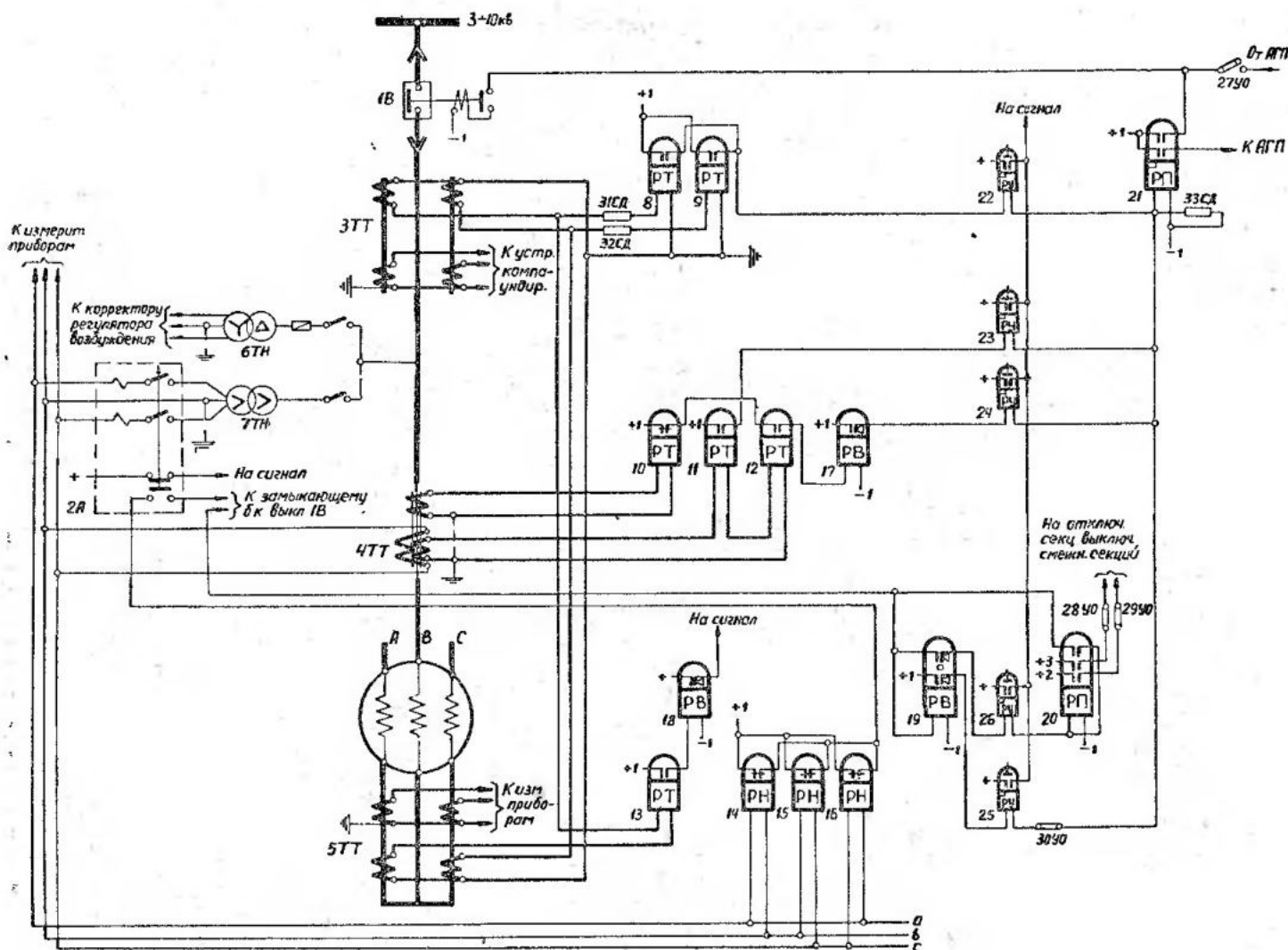


Рис. 4. Схема защиты турбогенератора 3—10 кВ мощностью более 1 до 6 Мвт включительно с соединением обмотки статора в звезду—вариант выполнения при применении КРУ.

1В—выключатель; 2А—автомат типа АП25-2М; 3ТТ, 5ТТ—трансформаторы тока; 4ТТ—трансформатор тока нулевой последовательности типа ТНПШ; 6ТН, 7ТН—трансформаторы напряжения; 8РТ, 9РТ, 11РТ, 13РТ—реле тока типа ЭТ-521; 10РТ—реле тока типа ЭТ-523/0,2; 12РТ—реле тока типа ЭТД-551/60; 14РН—16РН—реле напряжения типа ЭН-529/160; 17РВ—реле времени типа ЭВ-124-А; 18РВ—реле времени типа ЭВ-133-А; 19РВ—реле времени типа ЭВ-132-А; 20РП—реле промежуточное типа РП-23; 21РП—реле промежуточное типа РП-24; 22РВ—25РВ—реле указательные серийные типа ЭС-21/0,025; 26РВ—реле указательное серийное типа ЭС-21/0,015; 27УО—30УО—устройства отключающие типа НКР-2; 31СД, 32СД—сопротивления добавочные 5 ом типа ПЭ-150; 33СД—сопротивление добавочное 4 500 ом типа ПЭ-50.

Примечания: 1. В схеме не предусмотрены трансформаторы тока для защиты шин в предположении, что таковая отсутствует. 2. При выполнении защиты от замыканий на землю с кабельным трансформатором тока, а не шинным (4ТТ), в схеме исключается реле 10РТ, а реле 12РТ принимается типа ЭТД-551/60 или ЭТ-521/0,2 в зависимости от требований чувствительности

рых размещается и аппаратура релейной защиты.

2) Дифференциальная токовая защита выполнена с реле типа ЭТ-520 (8РТ, 9РТ) и добавочными сопротивлениями (31СД, 32СД) в цепях обмоток реле.

3) В целях уменьшения количества реле (для облегчения размещения их в КРУ) защита от внешних коротких замыканий выполнена только с реле напряжения 14РН—16РН (без реле тока).

Для предотвращения неправильного отключения генератора при коротких замыканиях во вторичных цепях трансформатора напряжения 7ТН, от которого питаются реле 14РН—16РН, в указанных цепях вместо предохранителей предусмотрен автомат 2А. В случае короткого замыкания в цепях напряжения автомат отключается и через его размыкающий блок-контакт подается сигнал, а замыкающим блок-контактом разрывается цепь обмотки реле времени 19РВ защиты. При

этом принимается, что со стороны высшего напряжения трансформатора напряжения предохранители не предусматриваются.

Недостатком схемы является возможность неправильного действия защиты при обрывах во вторичных цепях трансформатора напряжения.

В цепи обмотки реле времени *19PB* предусмотрен замыкающий блок-контакт выключателя для предотвращения длительного обтекания током этого реле при невозбужденном отключенном генераторе.

В соответствии с п. «А», 6 защита от внешних коротких замыканий выполнена с двумя выдержками времени и действует с первой выдержкой времени на разделение секций шин генераторного напряжения и со второй — на отключение генератора. По аналогии со схемой рис. 1 реле *20PI* выполнено с самодерживанием.

4) Защита от однофазных замыканий на землю и от двойных замыканий на землю выполнена с использованием трансформатора тока нулевой последовательности шинного типа *4TT* (реле *12PT*, *17PB* и реле *11PT*).

Блокировка защиты от однофазных замыканий на землю при внешних коротких замыканиях осуществляется с помощью реле тока *10PT*, приключенного к специальной блокировочной обмотке, помещенной на магнитопроводах трансформатора тока. Действие указанного реле аналогично действию защиты, включенной на разность токов двух фаз. В связи с этим оно отказывает в работе при одном из трех видов замыкания между двумя фазами за трансформатором с соединением Y/Δ -11, что является недостатком блокировки.

5) Защита от симметричной перегрузки выполнена с реле тока *13PT* и реле времени *18PB*.

Схема защиты гидрогенератора 6—10 кв мощностью более 1 до 50 Мвт с соединением обмотки статора в звезду для станций без постоянного дежурства обслуживающего персонала на щите управления (рис. 5)

1) Схема дана для случая, когда емкостный ток замыканий на землю системы генераторного напряжения меньше 5 а, в связи с чем защита от замыкания на землю, действующая на отключение, не предусмотрена.

2) Дифференциальная токовая защита выполнена с реле РНТ-562 (*9PTH—11PTH*). Защита предусмотрена трехфазной для обеспечения действия как при замыканиях между фазами, так и при двойных замыканиях на землю. Для генераторов относительно неболь-

шой мощности защита может выполняться с реле тока типа ЭТ-520 и добавочными сопротивлениями в цепях обмоток реле.

Защита выполнена с устройством контроля исправности вторичных цепей трансформаторов тока. Реле контроля включается в нулевой провод защиты и действует на сигнал с выдержкой времени.

Схема дана для случая, когда на станции предусмотрено устройство автоматического пожаротушения, в связи с чем дифференциальная защита действует на включение последнего.

3) Защита от внешних коротких замыканий выполнена в виде максимальной токовой защиты с комбинированным пуском напряжения подобно таковой в схеме рис. 1 (реле *14PT—16PT*, *17PHФ* и *18PH*).

Реле тока рассматриваемой защиты используются для повышения чувствительности максимальной токовой защиты с пуском напряжения повышающих трансформаторов в режиме работы, когда один из генераторов станции отключен.

В соответствии с п. «А», 6 защита выполнена с двумя выдержками времени и действует с первой выдержкой времени на разделение секций шин генераторного напряжения и со второй — на отключение генератора. По аналогии с рис. 1 реле *26PI* выполнено с самодерживанием.

4) Защита от повышения напряжения выполнена с помощью реле напряжения *19PH* и реле времени *23PB*.

5) На генераторе установлено устройство автоматической разгрузки, разработанное ОАТН ГИДЭП. При неэффективности разгрузки указанное устройство через реле времени (реле *21PB*) действует на отключение генератора.

6) В схеме предусмотрено выходное промежуточное реле защиты от внутренних повреждений (*27PI*), действующее на отключение выключателя генератора, АГП, автоматическое тушение пожара и остановку турбины, и от внешних повреждений (*28PI*), действующее только на отключение выключателя и АГП.

7) Следует отметить, что рассматриваемая схема защиты может быть применена также в тех случаях, когда емкостный ток замыкания на землю системы генераторного напряжения несколько превышает 5 а, при установке дугогасящей катушки для компенсации емкостного тока генератора при условии, что остаточный ток замыкания на землю во всех режимах не превышает 5 а.

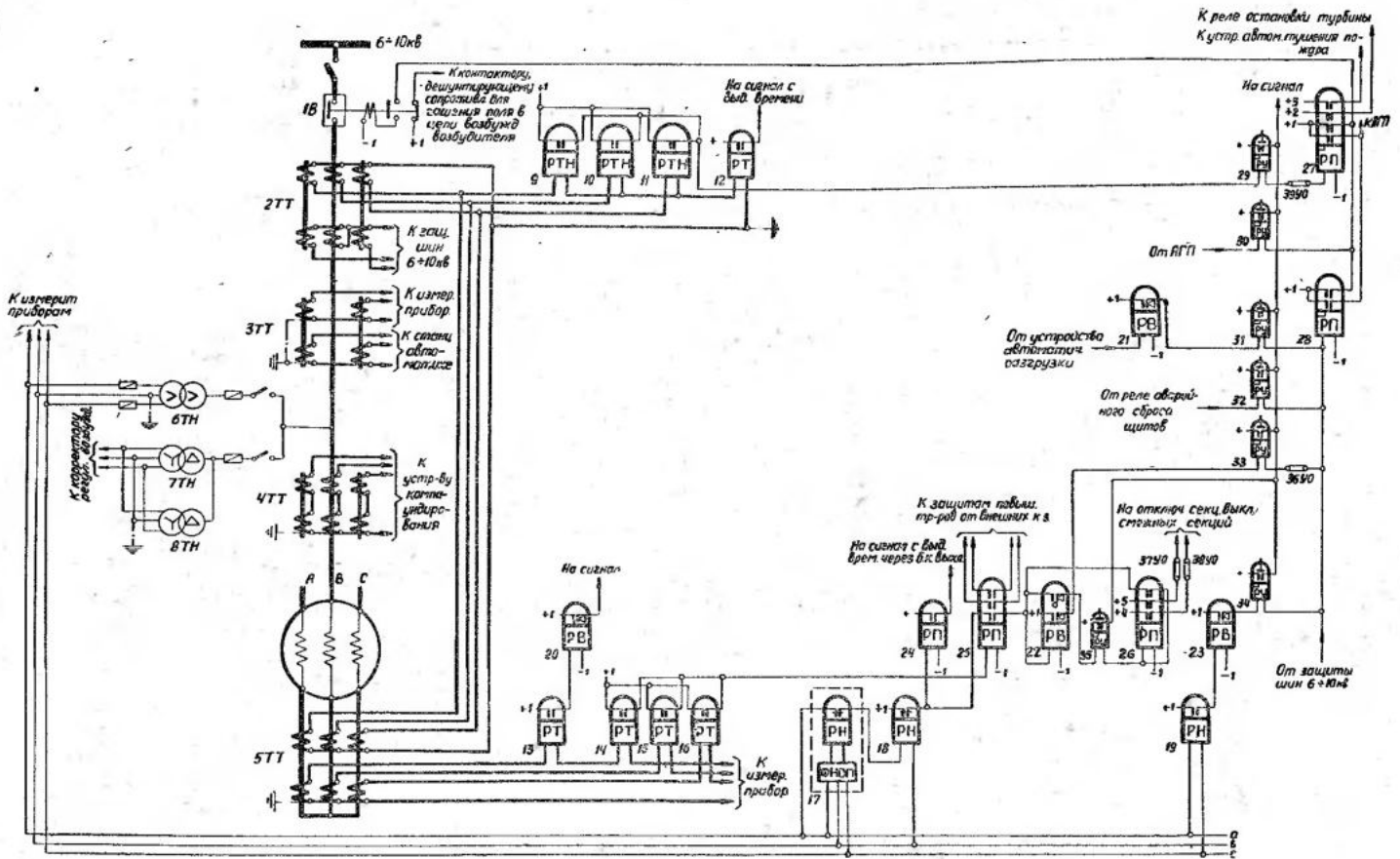


Рис. 5. Схема защиты гидрогенератора 6—10 кВ мощностью более 1 до 50 Мвт с соединением обмотки статора в звезду для станций без постоянного дежурства обслуживающего персонала на щите управления.

1В — выключатель; 2ТТ — 5ТТ — трансформаторы тока; 6ТН — 8ТН — трансформаторы напряжения; 9РТН — 11РТН — реле тока с индукционными трансформаторами типа РНТ-562; 12РТ — реле тока типа ЭТ-521/2; 13РТ — 16РТ — реле тока типа ЭТ-521; ПРНФ — фильтр-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1; 18РН — реле напряжения типа ЭН-529/160; 19РН — реле напряжения типа ЭН-524/200; 20РВ — реле времени ЭВ-133-А; 21РВ — реле времени типа Е-513; 22РВ — реле времени типа ЭВ-132-А; 23РВ — реле времени типа ЭВ-114-А; 24РП — 26РП — реле промежуточные типа РП-23; 27РП, 28РП — реле промежуточные типа РП-24; 29РУ, 30РУ — реле указательные серии типа ЭС-21/0,61В; 30РУ — реле указательное серийное типа ЭС-21/1; 36УО — 38УО — устройства отключающие типа НКР-2.

Примечание. Для генераторов относительно небольшой мощности дифференциальная защита может выполняться с реле ЭТ-521 с добавочными сопротивлениями по схеме рис. 6 в трехфазном исполнении.

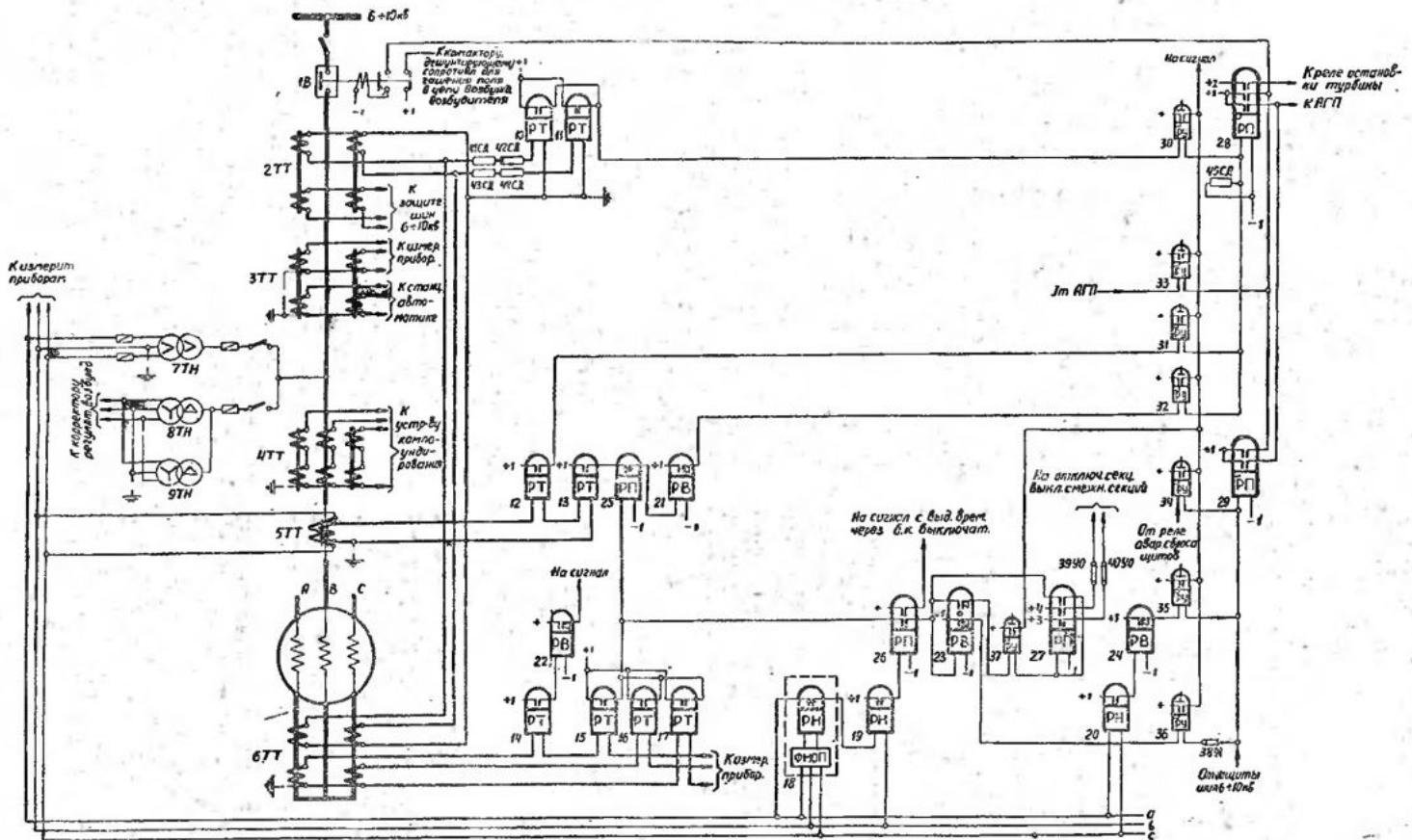


Рис. 6. Схема защиты гидрогенератора 6—10 кв мощностью более 1 до 50 Мвт с соединением обмотки статора в звезду для станций с постоянным дежурством обслуживающего персонала на щите управления.

1В—выключатель; 2ТТ—4ТТ, 6ТТ—трансформаторы тока; 5ТТ—трансформатор тока нулевой последовательности типа ТНПШ; 7ТН—9ТН—трансформаторы напряжения; 10РТ—12РТ, 14РТ—17РТ—реле тока типа ЭТ-521; 13ТТ—реле тока типа ЭТД-551/55; 18РНФ—фильтр-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1; 15РН—реле напряжения типа ЭН-539/160; 20РН—реле напряжения типа ЭН-524/200; 21РВ—реле времени типа ЭВ-124-А; 22РВ—реле времени типа ЭВ-133-А; 23РВ—реле времени типа ЭВ-132-А; 24РВ—реле времени типа ЭВ-114-А; 25РП—27РП—реле промежуточные типа РП-23; 28РП, 29РП—реле промежуточные типа РП-24; 30РП—32РП—реле указательные серийные типа ЭС-21/0,025; 34РУ—37РУ—реле указательные серийные типа ЭС-21/0,015; 38УО—40УО—устройства отключающие типа НКР-2; 41СД—44СД—сопротивления добавочные 5 ом типа ПЭ-150; 45СД—сопротивление добавочное 4 500 ом типа ПЭ-50.

Схема защиты гидрогенератора 6—10 кв мощностью более 1 до 50 Мвт с соединением обмотки статора в звезду для станций с постоянным дежурством обслуживающего персонала на щите управления (рис. 6)

1) Схема дана для случая, когда емкостный ток замыкания на землю системы генераторного напряжения больше 5 а (основная нагрузка станции распределяется на генераторном напряжении), в связи с чем применяются защиты от однофазных и двойных замыканий на землю, выполненные с трансформатором тока нулевой последовательности шинного типа (аналогично рис. 1).

2) Дифференциальная токовая защита выполнена двухфазной с реле типа ЭТ-520 (10РТ, 11РТ) и включением добавочных сопротивлений (41СД—44СД) в цепи обмоток реле.

3) Защита от внешних коротких замыканий выполнена аналогично таковой в схеме рис. 1.

4) Защита от повышения напряжения выполнена с помощью реле 20РН и 24РВ.

5) Защита от перегрузки (в отличие от схемы рис. 5) выполнена с действием только на сигнал (реле 14РТ и 22РВ).

6) В схеме предусмотрено два выходных промежуточных реле: защиты от внутренних повреждений (28РП), действующее на отключение выключателя генератора, АГП и остановку турбины, и защиты от внешних повреждений (29РП), действующее только на отключение выключателя и АГП.

Схема защиты от появления второго замыкания на землю в цепи возбуждения турбогенератора, действующая на отключение или на сигнал (рис. 7)

1) Схема защиты основана на принципе моста постоянного тока, плечи которого составляют сопротивления цепи возбуждения и специально предусмотренного потенциометра. Защита действует с выдержкой времени. Последняя предотвращает действие защиты при кратковременных переходящих замыканиях на землю.

Выпускаемый заводом комплект защиты ротора КЗР-1 (на рис. 7 очерчен пунктиром) содержит: реле тока с двумя обмотками, промежуточный трансформатор тока и дроссель. Трансформатор тока и дроссель предусматриваются для уменьшения влияния переменной составляющей тока в целях предотвращения неправильного действия защиты.

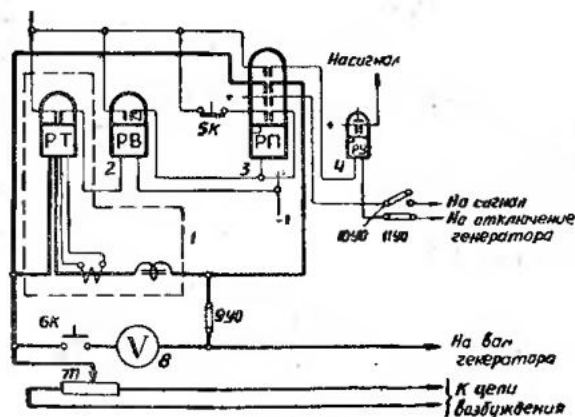


Рис. 7. Схема защиты от появления второго замыкания на землю в цепи возбуждения турбогенератора, действующей на отключение или на сигнал.

1—комплект защиты ротора типа КЗР-1; 2РВ—реле времени типа ЭВ-124-А; 3РП—реле промежуточное типа РП-24; 4РУ—реле указательное серийное типа ЭС-21; 5К, 6К—кнопки; 7П—потенциометр; 8В—вольтметр; 9УО—11УО—устройства отключающие типа НКР-2.

Примечания: 1. При действии защиты на сигнал должно быть включено устройство 10УО, а при действии на отключение—11УО. 2. Защита устанавливается на персональной панели.

Для генераторов мощностью более 1 до 6 Мвт включительно при напряжении возбуждителя 115—150 в сопротивление потенциометра ориентировочно принимается равным 50 ом, а для генераторов 12—60 Мвт при напряжении возбуждителя 230—250 в—100 ом.

2) В целях предотвращения недопустимой перегрузки обмотки реле тока при протекании больших токов двойного замыкания на землю в схеме предусмотрено промежуточное реле 3РП с самоудерживанием, шунтирующее своим контактом обмотку реле тока. Снятие самоудерживания осуществляется кнопкой 5К.

3) В схеме предусмотрен вольтметр на номинальное напряжение 3 в с нулем посередине шкалы, используемый при включении защиты, а также в процессе эксплуатации для контроля точности установки потенциометра и обнаружения замыкания на землю во второй точке цепи возбуждения через большое переходное сопротивление, когда защита может не действовать ввиду недостаточной чувствительности.

4) Недостатками схемы рис. 7 являются:

а) наличие мертвой зоны (при возникновении первого замыкания у колец ротора защита не действует вне зависимости от местоположения второго замыкания);

б) невозможность использования при возникновении первого замыкания в цепи воз-

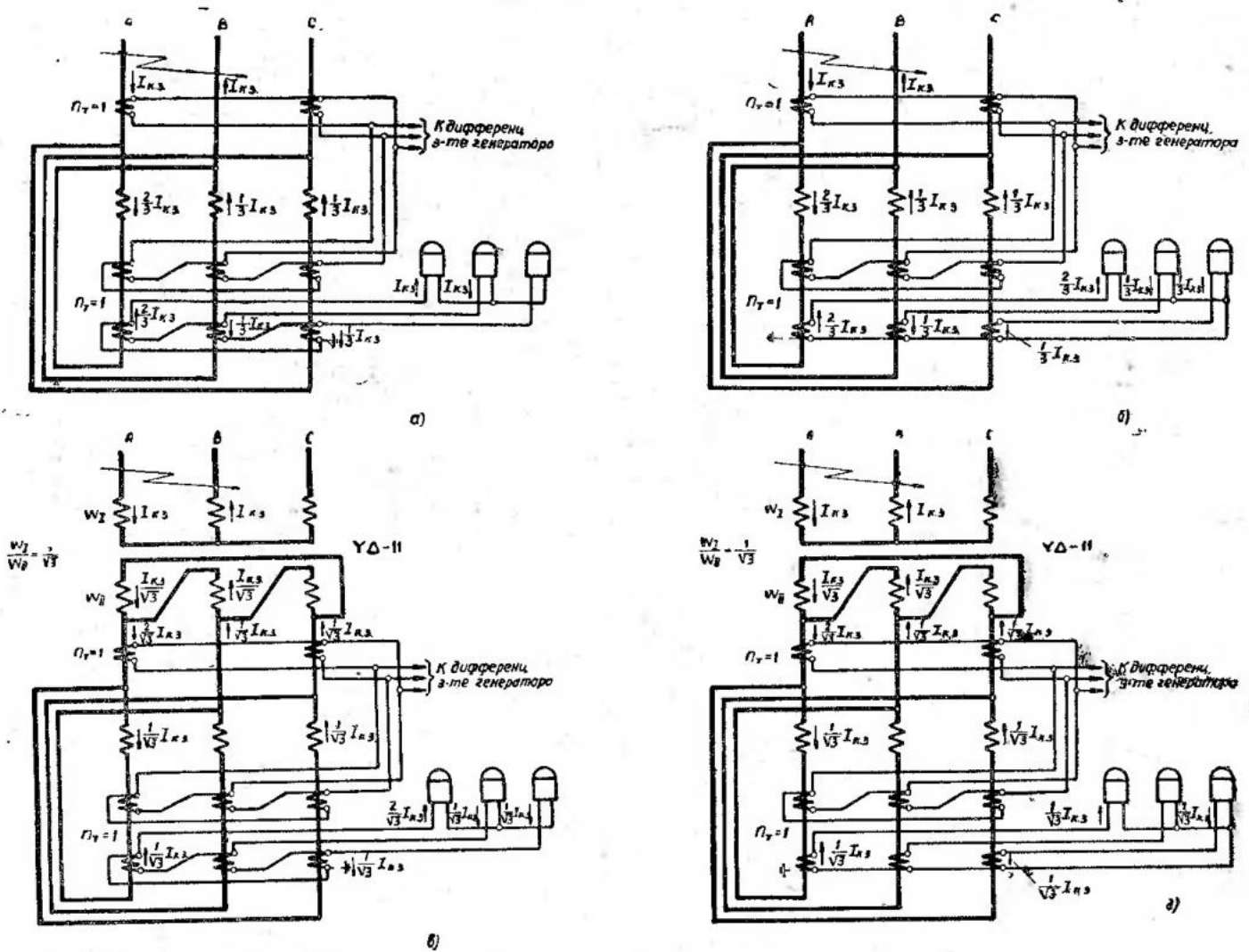


Рис. 8. Токораспределение в схеме максимальной токовой защиты генератора, обмотка статора которого соединена в треугольник.

буждения возбудителя, так как при этом защита может неправильно действовать при изменении сопротивления регулировочного реостата.

5) Для оценки рассматриваемой защиты в Приложении I дан способ определения ориентировочной величины мертвой зоны защиты.

ГЛАВА ВТОРАЯ

СХЕМЫ ЗАЩИТ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ И ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ, ВЫПОЛНЕННЫЕ НА ПЕРЕМЕННОМ ОПЕРАТИВНОМ ТОКЕ

В настоящей главе рассмотрены схемы релейной защиты генераторов напряжением 400/230 в (рис. 9) и 3—10 кв (рис. 10—16), работающих на сборные шины.

Схема рис. 9 дана для турбогенератора мощностью 1 Мвт и менее, работающего с наглухо заземленной нейтралью, в случае, когда для операций включения и отключения на вы-

водах генератора к сборным шинам предусмотрен автомат.

Схема рис. 10 дана для турбогенератора мощностью 1 Мвт и менее, с выключателем, оборудованным пружинным приводом, при выполнении защиты частично с реле прямого действия и частично с реле косвенного действия, с воздействием последних на катушки отключения привода.

Схема рис. 11 дана для гидрогенератора мощностью 1 Мвт и менее, с выключателем, оборудованным пружинным приводом, при выполнении защиты с реле косвенного действия, воздействующими на катушки отключения привода; схема дана для станций без постоянного дежурства обслуживающего персонала на щите управления.

Схемы рис. 12 и 13 даны для турбогенераторов мощностью более 1 до 6 Мвт включительно, с выключателями, оборудованными пружинными приводами. Особенностью выполнения релейной защиты рассматриваемых схем является необходимость экономии релейного оборудования в целях облегчения размещения его в КРУ. Указанные схемы выполнены частично с реле прямого действия и частично с реле косвенного действия и различаются способом питания цепей возбуждения.

Схема рис. 14 дана для турбогенератора мощностью более 1 до 12 Мвт включительно и в отличие от схемы рис. 13 выполнена только с реле косвенного действия, как обеспечивающими большую надежность.

Схемы рис. 15 и 16 даны соответственно для турбогенератора и гидрогенератора мощностью более 1 до 50 Мвт с выключателями, оборудованными соленоидными приводами, и питанием их цепей отключения постоянным током. Схема рис. 15 выполнена с использованием блока для питания как цепей отключения, так и оперативных цепей защиты. Схема рис. 16 выполнена с использованием конденсаторных устройств для питания цепей отключения и дана для станций без постоянного дежурства обслуживающего персонала на щите управления.

Схемы рис. 9—11 и 15 даны в совмещенном изображении, а схемы рис. 12—14 и 16, являющиеся более сложными, даны как в совмещенном, так и развернутом изображении.

Приведенные схемы иллюстрируют различные современные принципы выполнения защиты на переменном оперативном токе и являются предварительными, так как:

- а) частично содержат оборудование, находящееся в стадии заводской разработки;
- б) ряд схем и узлов их требует дополнительных лабораторных испытаний;
- в) не имеют достаточного опыта эксплуатации.

При практическом использовании указанные схемы нуждаются в уточнении с учетом реального оборудования и проверки в лабораторных и пусковых условиях.

А. ПРИНЦИПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ СХЕМ

1. Виды применяемых защит

1) На генераторах мощностью 1 Мвт и менее напряжением 3—6 кВ предусматриваются виды защит, перечисленные в п. «А», 1 («а», «б», «д», «е», «и») гл. 1, и напряжением 400/230 в — в п. «А», 1 («а», «б» и «д»). На генераторах мощностью более 1 Мвт предусматриваются виды защит, перечисленные в п. «А», 1 гл. 1.

2) Применяемые в соответствии с указаниями п. 1 защиты турбогенераторов от появления второго замыкания на землю в цепи возбуждения и гидрогенераторов от замыкания на землю в одной точке цепи возбуждения на рис. 12—16 не приведены. Схема защиты для турбогенератора дана на рис. 17, схема защиты для гидрогенератора дается в разделе «Защита блоков генератор—трансформатор».

2. Особенности выполнения защит генераторов на переменном оперативном токе

1) Схемы рис. 10—14 выполнены с учетом того, что выпускаемый в настоящее время промышленностью пружинный привод имеет четыре катушки отключения или реле прямого действия с потреблением в условиях срабатывания токовых катушек порядка 50 вА и катушек напряжения — порядка 300—400 вА.

2) Схемы рис. 15 и 16 выполнены в предположении, что соленоидный привод выключателя имеет потребление цепи отключения порядка 500 вт.

3) В схемах рис. 10—14 и 16 используются реле прямого действия (типа РТМ и РТВ) и реле косвенного действия, предназначенные для работы на переменном оперативном токе, следующих типов:

а) Серийное промежуточное реле РП-341 с двумя переключающимися контактами — одним усиленным переходным и одним нормальным перекидным.

б) Серийное промежуточное реле РП-321 с двумя нормальными перекидными контактами и двумя нормальными замыкающими контактами.

в) Шунтовое промежуточное реле РП-25.

г) Реле времени со втягивающимся якорем ЭВ-217, ЭВ-227, ЭВ-237, ЭВ-218, ЭВ-228.

д) Серийное реле времени типа РВМ с микродвигателем. По предварительным данным Чебоксарского электроаппаратного завода в реле предусмотрено два промежуточных насыщающихся трансформатора тока для возможности выполнения двухфазной защиты

с одним реле времени и три контакта с выдержкой времени (два временно замыкающих и один упорный); выпуск реле намечается на IV квартал 1960 г.

е) Реле тока ИТ-85 с одним усиленным переходным контактом.

ж) Реле времени с большой выдержкой времени РВТ-1200.

4) В качестве источников питания оперативных цепей защиты в схемах рис. 10—14 используются трансформаторы тока и трансформаторы напряжения.

Питание непосредственно от трансформаторов тока принято для катушек отключения и реле прямого действия следующих защит: токовой отсечки, дифференциальной защиты и защиты от внешних коротких замыканий.

Питание цепей отключения от трансформаторов напряжения, установленных на генераторах, осуществляется для защит от замыканий на землю, двойных замыканий на землю, а для гидрогенераторов — также и от повышения напряжения и перегрузки.

5) Питание катушек отключения привода выключателя и автомата гашения поля от трансформаторов тока осуществляется в схемах рис. 11—14 путем дешунтирования катушек в условиях повреждения переходными контактами серийных промежуточных реле РП-341 или реле тока ИТ-85.

Применение переходных контактов повышает надежность схемы, предотвращая неселективное отключение генератора при сотрясениях реле, а также в случае, когда сопротивление цепи, шунтирующей катушку отключения, имеет по сравнению с последней заметную величину.

6) В схеме рис. 15 питание защиты и цепей отключения осуществляется на постоянном токе от блоков питания, приключенных к трансформаторам тока и напряжения.

7) В схеме рис. 16 питание оперативных цепей защиты производится от трансформаторов тока и напряжения, а для отключения выключателя и АГП предусмотрены конденсаторные устройства.

3. Защита от многофазных замыканий в обмотке статора

1) В качестве защиты от многофазных замыканий предусмотрена токовая отсечка без замедления для генераторов мощностью 1 Мвт и менее в предположении, что к сборным шинам приключены другие источники питания (рис. 9—11), и продольная дифференциальная токовая защита для генераторов мощностью более 1 Мвт (рис. 12—16).

Следует отметить, что для генераторов мощностью 1 Мвт и менее в тех случаях, когда токовая отсечка не удовлетворяет требованиям чувствительности, в соответствии с Правилами устройства электроустановок может возникнуть вопрос об установке дифференциальной защиты (при наличии выводов со стороны нейтрали) или использовании в качестве защиты от многофазных повреждений предусмотренной на генераторе максимальной токовой защиты от внешних коротких замыканий.

2) Токовая отсечка в схеме рис. 9 принята в трехфазном исполнении в целях обеспечения ее действия при замыканиях на землю в обмотке статора (в связи с работой генератора в сети с заземленной нейтралью).

3) Токовая отсечка или продольная дифференциальная токовая защита в схемах рис. 10—15 имеет двухфазное исполнение, а в схеме рис. 16 — трехфазное. Двухфазное исполнение принято в целях упрощения схемы, экономии трансформаторов тока и реле, а также в целях уменьшения требуемого при применении переменного оперативного тока числа катушек отключения или реле прямого действия.

Недостатком двухфазного исполнения защиты является то, что она не реагирует на двойные замыкания на землю в сети генераторного напряжения, когда одно из мест повреждения находится в генераторе на фазе, не имеющей трансформатора тока.

В схеме рис. 10 указанные двойные замыкания на землю будут ликвидироваться предусмотренной в этой схеме защитой от замыканий на землю, действующей без замедления.

В схеме рис. 11 для генератора мощностью 1 Мвт и менее, в которой защита от замыкания на землю не предусмотрена (см. ниже п. «А», 4), указанные двойные замыкания на землю будут ликвидироваться защитой линии 3—6 кв — в ряде случаев с выдержкой времени, что является недостатком схемы. Учитывая относительно малую мощность генератора по рис. 11, а также то, что указанные двойные замыкания весьма редки, отключение их с выдержкой времени можно считать допустимым.

В схемах рис. 12—15 (для генераторов мощностью более 1 Мвт) дифференциальная защита дополнена токовой защитой нулевой последовательности от двойных замыканий на землю, приключенной к трансформатору тока нулевой последовательности защиты от однофазных замыканий на землю, предусмотренной в этих схемах. Такое выполнение схемы

в сравнении с трехфазной дифференциальной защитой обеспечивает повышение чувствительности к двойным замыканиям на землю.

В схеме рис. 16, не содержащей защиты от замыкания на землю, дифференциальная защита для обеспечения ее действия во всех случаях двойных замыканий на землю предусмотрена в трехфазном исполнении.

4) Защита от многофазных замыканий в отдельных схемах принята в следующем исполнении:

а) токовая отсечка (совместно с максимальной токовой защитой с зависимой характеристикой выдержки времени) выполнена с помощью первичных реле тока, встроенных в автомат (рис. 9), с помощью реле тока прямого действия типа РТМ (рис. 10) и реле тока типа ИТ-85 (рис. 11);

б) дифференциальная защита выполнена с помощью реле тока прямого действия типа РТМ (рис. 12 и 13), а также с реле тока типа ЭТ-520 и добавочными сопротивлениями, включенными в цепи обмоток реле (рис. 14—16) (подробнее см. гл. 1, п. «А», 2).

Установка добавочных сопротивлений в цепи обмоток реле при выполнении защиты с реле прямого действия в целях упрощения не предусматривается, в связи с чем при выборе тока срабатывания защиты должен учитываться повышенный коэффициент надежности. Ток срабатывания дифференциальной защиты в указанном исполнении должен быть принят большим номинального.

В схеме рис. 16 для генератора гидроэлектростанции без постоянного дежурства обслуживающего персонала на щите управления предусмотрено устройство контроля исправности вторичных цепей дифференциальной защиты.

4. Защита от однофазных замыканий на землю в обмотке статора

1) Для генератора 400/230 в (рис. 9) ликвидация замыкания на землю в обмотке статора обеспечивается токовой защитой (осуществляемой первичными реле) в трехфазном исполнении в предположении, что к сборным шинам подключены другие источники питания. Для одиночно работающего генератора может оказаться целесообразным предусмотреть токовую защиту нулевой последовательности, установленную в нейтрали генератора.

Защита от замыкания на землю в обмотке статора генераторов 3—10 кВ в схемах рис. 10, 12—15 предусмотрена в предположении, что естественный (емкостный) ток замыкания на землю системы генераторного напряжения равен или больше 5 а. Специаль-

ная защита от замыкания на землю; действующая на отключение, в схемах рис. 11 и 16 не предусмотрена в предположении, что емкостный ток замыкания на землю меньше 5 а; при этом для сигнализации замыкания на землю может быть использовано устройство контроля изоляции, устанавливаемое на шинах.

2) Защита от замыкания на землю в отдельных схемах выполнена следующим образом:

а) В схеме рис. 10 защита выполнена с помощью реле тока типа ЭТД-551/60, подключенного к кабельному трансформатору тока нулевой последовательности. Защита выполнена без замедления в предположении, что ток срабатывания отстраивается от броска емкостного тока генератора при внешнем замыкании на землю.

б) В схемах рис. 12 и 14 защита выполнена с помощью реле тока, подключенного к трансформатору тока нулевой последовательности с подмагничиванием шинного типа. Защита выполнена с блокировкой при внешних повреждениях. Для целей блокировки применяется реле тока, подключенное к специальной обмотке, помещенной на магнитопроводах трансформатора тока. При действии блокировки снимается оперативный ток с реле тока защиты от замыкания на землю. Такое выполнение блокировки обеспечивает упрощение рассматриваемых схем в сравнении со случаем выполнения ее, например, по рис. 1. Однако указанная блокировка обладает тем недостатком, что отказывает в действии при одном из трех видов замыкания между двумя фазами за трансформатором с соединением $Y/\Delta-11$ (аналогично действию реле, включенного на разность токов двух фаз).

в) В схемах рис. 13 и 15 защита выполнена с трансформаторами тока нулевой последовательности с подмагничиванием кабельного типа; защита не содержит блокировки при внешних коротких замыканиях (подробнее см. п. «А», 3 гл. 1).

5. Защита от внешних коротких замыканий (резервная защита)

1) Защита от внешних коротких замыканий (в схемах рис. 12—16) выполняет также функции резервирования основных защит генератора от коротких замыканий.

В рассматриваемых схемах принято выполнение защиты по одному из следующих вариантов:

а) максимальная токовая защита — рис. 9—11;

б) минимальная защита напряжения (с тремя реле напряжения) — рис. 12 и 13;

в) максимальная токовая защита с комбинированным пуском напряжения, выполненным с одним реле напряжения обратной последовательности и одним реле, включенным на междуфазное напряжение, — рис. 14—16.

2) Максимальная токовая защита предусмотрена для генераторов мощностью 1 *Мвт* и менее (рис. 9—11) и выполнена с помощью первичных реле тока с зависимой характеристикой, встроенных в автомат (рис. 9), реле тока прямого действия с выдержкой времени типа РТВ (рис. 10) и реле тока типа ИТ-85 (рис. 11). В схемах рис. 10 и 11 защита принята в двухфазном исполнении.

3) Минимальная защита напряжения (с тремя реле напряжения) предусмотрена для генераторов мощностью более 1 до 6 *Мвт* включительно (рис. 12 и 13) в предположении, что в цепях трансформатора напряжения, питающего рассматриваемую защиту, на стороне высшего напряжения предохранители отсутствуют, а на стороне низшего напряжения взамен предохранителей предусмотрен автомат, при срабатывании которого защита выводится из действия. Этим предотвращается отключение генератора от резервной защиты при коротких замыканиях во вторичных цепях трансформатора напряжения.

Такое выполнение резервной защиты — с тремя реле напряжения и без реле тока — целесообразно для схем рис. 12 и 13 в целях экономии места в КРУ, где размещается аппаратура релейной защиты (по аналогии со схемой рис. 4).

Следует отметить, что и в схемах рис. 14—16 взамен предохранителей на стороне низшего напряжения трансформатора напряжения могут также быть предусмотрены автоматы.

4) В схеме рис. 14 для генераторов мощностью более 1 до 12 *Мвт* включительно и в схемах рис. 15 и 16 для генераторов мощностью более 1 до 50 *Мвт* защита от внешних коротких замыканий содержит устройство фильтр-реле напряжения обратной последовательности (реле РНФ-1), в цепи размыкающего контакта которого предусмотрено минимальное реле напряжения, включенное на междуфазное напряжение, для действия при симметричных повреждениях.

Преимущества рассматриваемой защиты по сравнению с максимальной токовой защитой с минимальным пуском напряжения с тремя реле, включенными на междуфазные напряжения, изложены в гл. 1, п. «А», б.

В схемах рис. 14—16 защита от внешних коротких замыканий выполнена с тремя реле тока, а не двумя в целях повышения чувствительности к замыканиям между двумя фазами за трансформатором с соединением Y/Δ -11.

5) В схемах рис. 10 и 11 защита от внешних коротких замыканий выполнена с одной выдержкой времени, а в схемах рис. 12—16 — с двумя; при этом защита с первой выдержкой времени действует на отключение секционного выключателя и со второй — на отключение генератора (подобно принятому в схемах на постоянном оперативном токе, см. гл. 1, п. «А», б).

6) В схеме рис. 16 защита от внешних коротких замыканий гидрогенератора дана в качестве примера выполнения ее для случая, когда в целях повышения чувствительности максимальной токовой защиты с пуском напряжения повышающих трансформаторов последняя предусматривается с дополнительным пуском от реле тока защиты от внешних коротких замыканий генераторов. Повышение чувствительности защиты трансформаторов может потребоваться в ряде случаев для станций с несколькими трансформаторами и генераторами при коротких замыканиях на шинах за повышающими трансформаторами в режиме, когда один из генераторов отключен.

6. Защита от симметричной перегрузки

В качестве защиты от симметричной перегрузки на турбогенераторах (рис. 10, 12—15) предусмотрена максимальная токовая защита, использующая ток одной фазы, с действием на сигнал с выдержкой времени.

В качестве защиты от перегрузки гидрогенераторов станций без постоянного дежурства обслуживающего персонала на щите управления (рис. 11 и 16) предусмотрена защита с действием на сигнал, автоматическую разгрузку и, если последняя оказывается неэффективной, на отключение.

Защита от перегрузки в схемах рис. 10—14 и 16 выполнена с использованием шунтового реле времени с питанием его от цепей напряжения.

7. Защита от появления второго замыкания на землю в цепи возбуждения

Защита цепей возбуждения турбогенераторов 3—10 *кв* мощностью более 1 *Мвт* от появления второго замыкания на землю предусматривается в одном комплекте на всю станцию, устанавливается на переносной панели и включается в работу только при появлении устойчивого замыкания на землю в одной

точке. Приведенная на рис. 17 схема защиты выполнена с возможностью действия как на сигнал, так и на отключение (подобно схеме рис. 7).

8. Защита от повышения напряжения

Защита гидрогенераторов от повышения напряжения выполняется в виде максимальной защиты напряжения с выдержкой времени (рис. 11 и 16). Напряжение срабатывания принимается порядка $(1,5-1,7) U_{ном}$, выдержка времени — порядка 0,5 сек.

9. Расстановка указательных реле и отключающих устройств

1) Указательные реле установлены в выходных цепях каждой защиты при выполнении ее с реле косвенного действия.

В схемах рис. 10, 12—15 для турбогенераторов от контактов указательных реле подается сигнал «указатель реле не поднят», а в схемах рис. 11 и 16 для гидрогенераторов — аварийный сигнал действия защиты (см. подробнее гл. 1, п. «А», 10).

2) Расстановка отключающих устройств и разъемных зажимов принята такой же, как и в схемах на постоянном оперативном токе.

10. Дополнительные указания по выполнению схем защит генераторов

1) Схемы выполнены с учетом того, что в соответствии с Правилами устройства электроустановок для генераторов мощностью более 1 до 6 Мвт включительно допускается осуществлять гашение поля введением сопротивлений в цепи обмоток возбуждения генератора и возбуждения возбудителя, а для генераторов мощностью 1 Мвт и менее — только введением сопротивления в цепь возбуждения возбудителя.

2) В схемах защит турбогенераторов (рис. 12—15) предусмотрена возможность отключения генератора при потере возбуждения, вызванной случайным действием АГП, для тех случаев, когда недопустима длительная работа генератора без возбуждения (если генератор имеет оставной ротор или ротор с проволочными бандажами), а также когда система не может покрывать дефицит реактивной мощности, вызванный потерей возбуждения рассматриваемого генератора.

Для гидрогенераторов режим работы при потере возбуждения нежелателен, а потому в схемах рис. 11 и 16 предусмотрено отключение генератора в указанном режиме (в отличие от

схем для турбогенераторов в цепи отключения выключателя от АГП отсутствует отключающее устройство).

Б. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ СХЕМ ЗАЩИТ РИС. 9—17

Схема защиты турбогенератора 400/220 в мощностью 1 Мвт и менее (рис. 9)

1) В схеме предусмотрен автомат 1А, предназначенный для осуществления операций включения и отключения генератора и имеющий встроенные первичные реле тока, выполняющие функции токовой отсечки и максимальной токовой защиты с зависимой от тока характеристикой выдержки времени.

2) Токовая отсечка в схеме рис. 9 применяется при параллельной работе защищаемого генератора с системой или другими генераторами, если при этом удовлетворяется требование чувствительности.

3) Гашение поля осуществляется дешунтированием сопротивления в цепи обмотки возбуждения возбудителя блок-контактом автомата.

В схеме предусмотрено отключающее устройство 4УО для шунтирования гаситель-

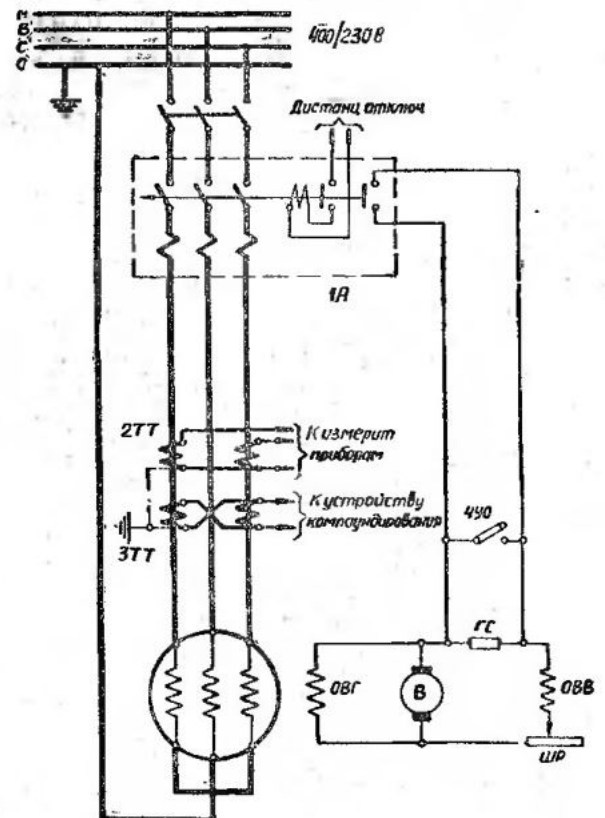


Рис. 9. Схема защиты турбогенератора 400/230 в мощностью 1 Мвт и менее.

1А — автомат; 2ТТ, 3ТТ — трансформаторы тока; 4УО — устройство отключающее типа НКР-2.

ного сопротивления на время до включения выключателя генератора в предположении, что может потребоваться включение одиночного генератора на нагрузку.

Схема защиты турбогенератора 3—6 кВ мощностью 1 Мвт и менее на переменном оперативном токе (рис. 10)

- 1) Схема дана для случая отсутствия выводов со стороны нейтрали генератора.
 - 2) В схеме предусмотрены токовая отсечка (реле 13РТ) и максимальная токовая защита с зависимой от тока характеристикой выдержки времени (реле 14РТВ и 15РТВ), выполненные с реле прямого действия.
- Токовая отсечка выполнена с одним реле,

включенным на разность токов двух фаз, в связи с наличием в приводе выключателя только четырех катушек отключения; при этом по сравнению с двухрелейной схемой чувствительность защиты снижается в $\sqrt{3}$ раз. Схема дана в предположении, что защищаемый генератор работает параллельно с системой или другими генераторами и что отсечка в таком выполнении имеет требуемую чувствительность. В дальнейшем, при выпуске приводов выключателей с числом катушек отключения или реле прямого действия более четырех, целесообразно в указанной схеме предусмотреть двухрелейное исполнение токовой отсечки.

Максимальная токовая защита выполнена двухрелейной и в целях увеличения зоны ее действия установлена непосредственно на выводах генератора к сборным шинам.

3) Защита от замыкания на землю выполнена с помощью реле тока 8РТ типа ЭТД-551/60 с параллельным соединением обмоток, приключенного к кабельному трансформатору тока нулевой последовательности (например, ТЗЛ, ТЗ, ТФ, ТНП-1), и промежуточного реле 11РП. Защита в таком исполнении реагирует на ток замыкания на землю порядка 4—5 а.

4) Защита от перегрузки выполнена с реле тока 9РТ и шунтовым реле времени 10РВ.

5) Гашение поля осуществляется дешунтированием сопротивления в цепи обмотки возбуждения возбuditеля блоком контактом выключателя. В схеме предусмотрено отключающее устройство 17УО для шунтирования гасительного сопротивления на время до включения выключателя генератора в предположении, что может потребоваться включение одиночного генератора на нагрузку.

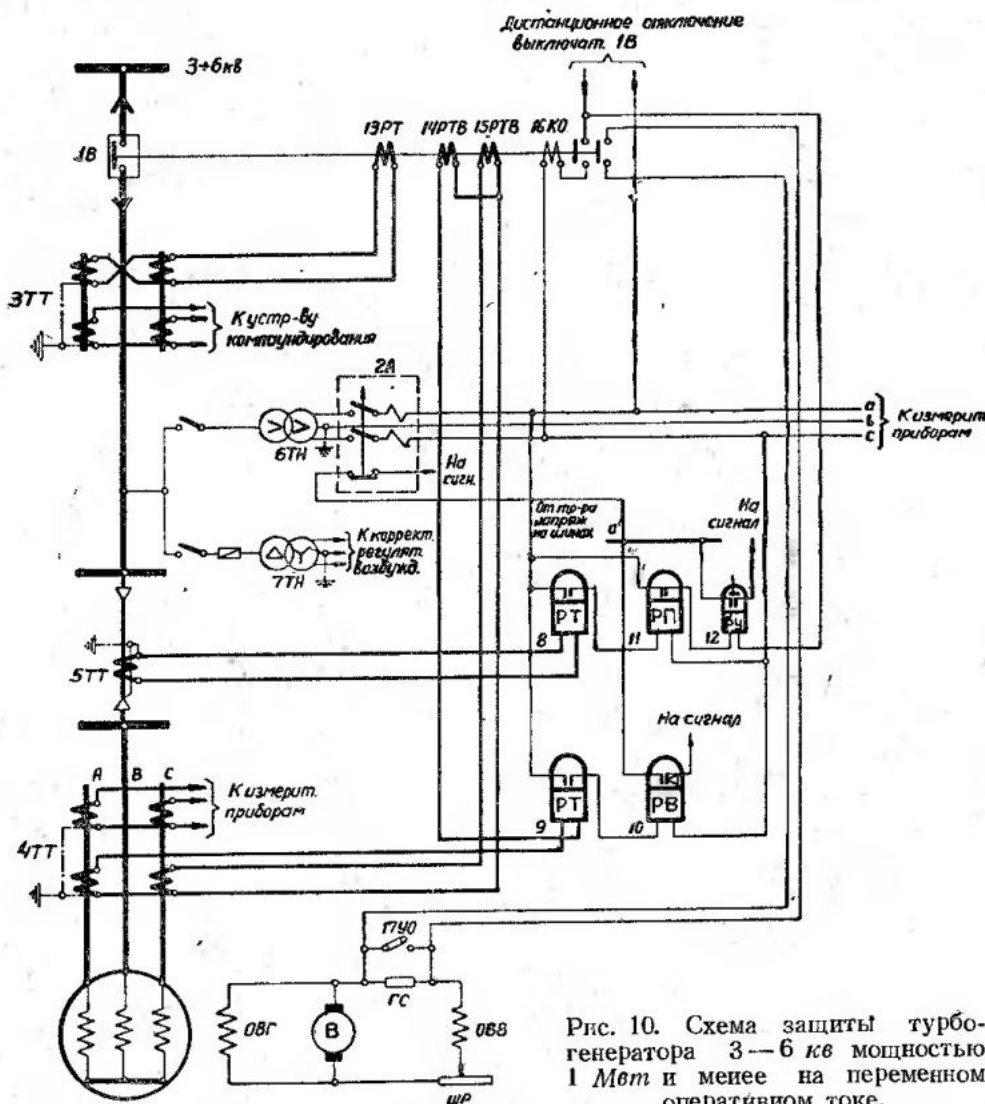


Рис. 10. Схема защиты турбогенератора 3—6 кВ мощностью 1 Мвт и менее на переменном оперативном токе.

1В—выключатель; 2А—автомат типа АП25-2М; 3ТТ, 4ТТ—трансформаторы тока; 5ТТ—трансформатор тока нулевой последовательности; 6ТН, 7ТН—трансформаторы напряжения; 8РТ—реле тока типа ЭТД-551/60; 9РТ—реле тока типа ЭТ-521; 10РВ—реле времени типа ЭВ-237; 11РП—реле промежуточное типа РП-25; 12РУ—реле указательное сериесное типа ЭС-21/1; 13РТ—реле тока прямого действия без замедления типа РТМ; 14РТВ, 15РТВ—реле тока прямого действия с выдержкой времени типа РТВ; 16К0—катушка отключения; 17УО—устройство отключающее.

б) В рассматриваемой схеме на стороне высшего напряжения трансформатора напряжения *6ТН* не предусматриваются предохранители, а на стороне низшего напряжения взамен предохранителей устанавливается автомат. При коротком замыкании в цепях напряжения автомат отключается и через его размыкающий блок-контакт подается сигнал.

При таком выполнении схемы не требуется установка специальных реле для контроля перегорания предохранителей, который был бы необходим в связи с тем, что питание оперативных цепей защит от замыкания на землю и от перегрузки производится от трансформатора напряжения.

Питание цепи сигнализации отключения автомата производится от трансформатора напряжения сборных шин.

Схема защиты гидрогенератора 3—6 кв мощностью 1 Мвт и менее на переменном оперативном токе (рис. 11)

1) Схема дана для случая отсутствия выводов со стороны нейтрали генератора.

Предполагается, что емкостный ток замыкания на землю системы генераторного напряжения меньше 5 а, а потому защита от замыкания на землю не предусматривается.

Схема предназначена для гидростанции без постоянного дежурства обслуживающего персонала на щите управления.

2) Рассматриваемая схема в отличие от схемы рис. 10 дана в качестве примера выполнения защиты на переменном оперативном токе на более совершенных принципах (с реле косвенного действия), что желательно

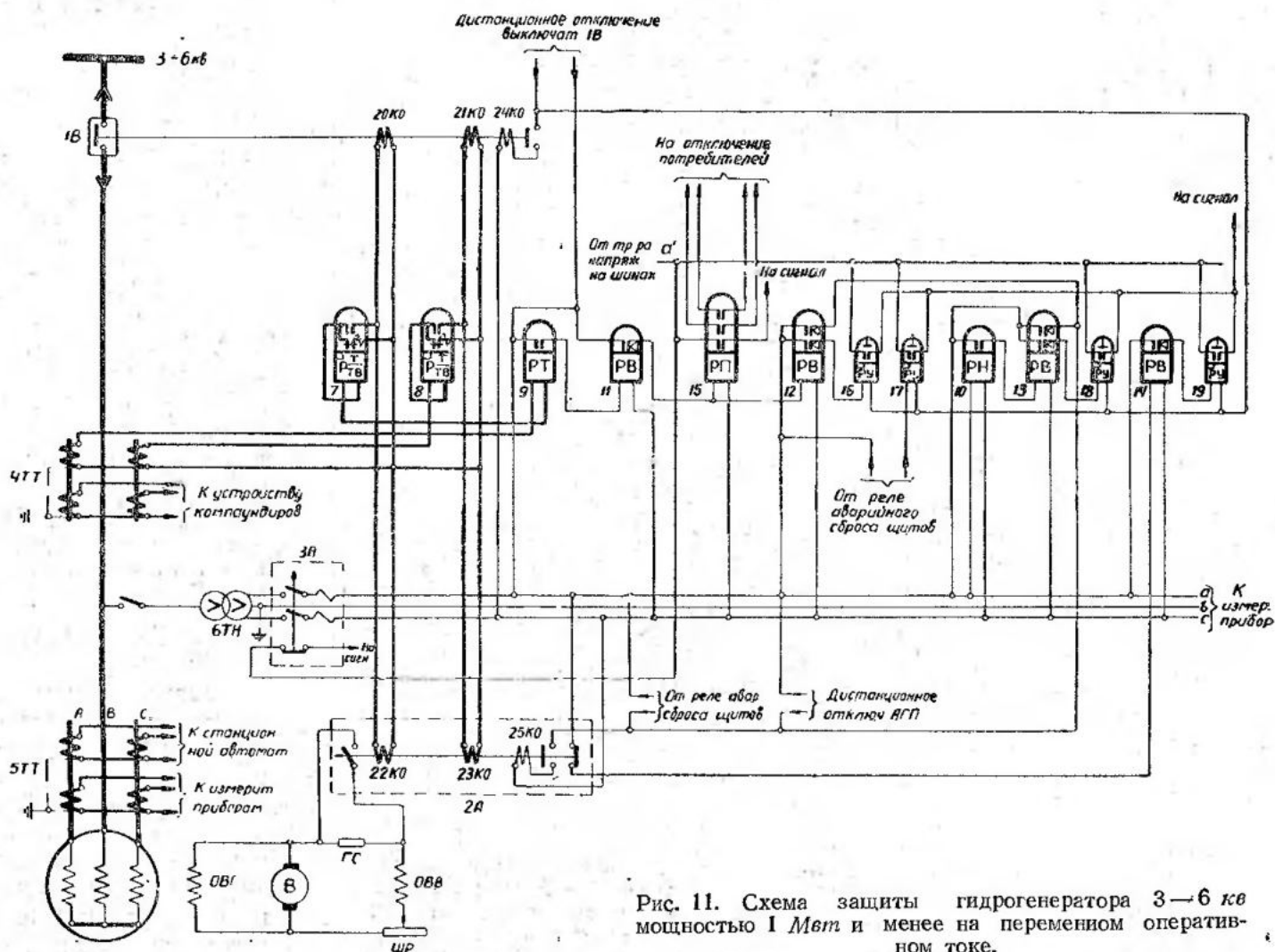


Рис. 11. Схема защиты гидрогенератора 3—6 кв мощностью 1 Мвт и менее на переменном оперативном токе.

В—выключатель; *2А*—автомат; *3А*—автомат типа АП25-2М; *4ТТ*, *5ТТ*—трансформаторы тока; *6ТН*—трансформатор напряжения; *7P T/TB*, *8P T/TB*—реле тока типа ИТ-85; *9PT*—реле тока типа ЭТ-521; *10РН*—реле напряжения типа ЭН-524/200; *11РВ*, *14РВ*—реле времени типа ЭВ-237; *12РВ*—реле времени типа РВТ-1200; *13РВ*—реле времени типа ЭВ-218; *16РП*—реле промежуточное типа РП-25; *17РП*—*19РП*—реле указательные серпесные типа ЭС-21/1; *20КО*—*23КО*—катушки отключения; *24КО*, *25КО*—катушки отключения.

для гидростанций без постоянного дежурства обслуживающего персонала.

3) Схема содержит токовую отсечку и максимальную токовую защиту с зависимой от тока характеристикой выдержки времени, выполненные с двумя реле ИТ-85 (реле $7P\frac{T}{TB}$ и $8P\frac{T}{TB}$), а также защиту от повышения напряжения (реле $10PH$ и $13PB$).

При срабатывании реле ИТ-85 своими контактами дешунтируют токовые катушки отключения выключателя ($20KO$ и $21KO$) и АГП ($22KO$ и $23KO$).

Выполнение защиты с реле типа ИТ-85, а не ЭТ-520 обеспечивает уменьшение требуемого количества реле до двух (вместо четырех реле тока, двух промежуточных реле и одного реле времени) и, кроме того, повышает селективность действия максимальных токовых защит параллельно работающих генераторов при коротком замыкании в одном из них (в связи с выполнением защиты с зависимой характеристикой).

Защита от повышения напряжения при срабатывании воздействует на катушки отключения напряжения $24KO$ и $25KO$.

4) Схема выполнена в предположении, что для рассматриваемого генератора подача импульса на остановку турбины осуществляется от блок-контакта выключателя по схеме несоответствия.

5) В рассматриваемой схеме защита от перегрузки выполнена с действием на сигнал, автоматическую разгрузку и отключение генератора (реле $9PT$, $11PB$, $15PP$ и $12PB$).

Принимается, что автоматическая разгрузка генератора производится путем отключения части потребителей. Осуществление разгрузки путем снижения возбуждения генератора в рассматриваемом случае (в предположении маломощной системы) нежелательно, так как может привести к лавине напряжения.

6) Гашение поля осуществляется дешунтированием сопротивления в цепи обмотки возбуждения возбuditеля.

Схема выполнена в предположении, что отключающая способность блок-контакта выключателя недостаточна для дешунтирования гасительного сопротивления. В связи с этим в отличие от схемы рис. 10 в рассматриваемой схеме для целей дешунтирования гасительного сопротивления предусматривается специальный автомат $2A$, снабженный тремя катушками отключения, аналогичными встроенным в привод выключателя.

7) Токовые катушки отключения привода

выключателя и автомата гашения поля, дешунтируемые переходными контактами реле ИТ-85, включены параллельно.

Преимуществом параллельного соединения катушек по сравнению с последовательным является то, что в первом случае при одновременности действия привода выключателя и автомата гашения поля одна из катушек может сработать раньше, и увеличение при этом ее сопротивления обусловит увеличение тока в параллельной катушке, что повышает надежность ее действия. Однако параллельное соединение требует изменения обмоточных данных катушек заводского изготовления. В связи с этим в ряде случаев может возникнуть необходимость применения последовательного соединения.

8) Отключение выключателя при потере возбуждения производится с выдержкой времени (реле времени $14PB$ запускается от замыкающего блок-контакта автомата гашения поля). Реле времени предусматривается для обеспечения возможности включения гидрогенератора при самосинхронизации.

9) Сигнализация нарушения цепей трансформатора напряжения $6TH$ выполнена аналогично таковой в схеме рис. 10.

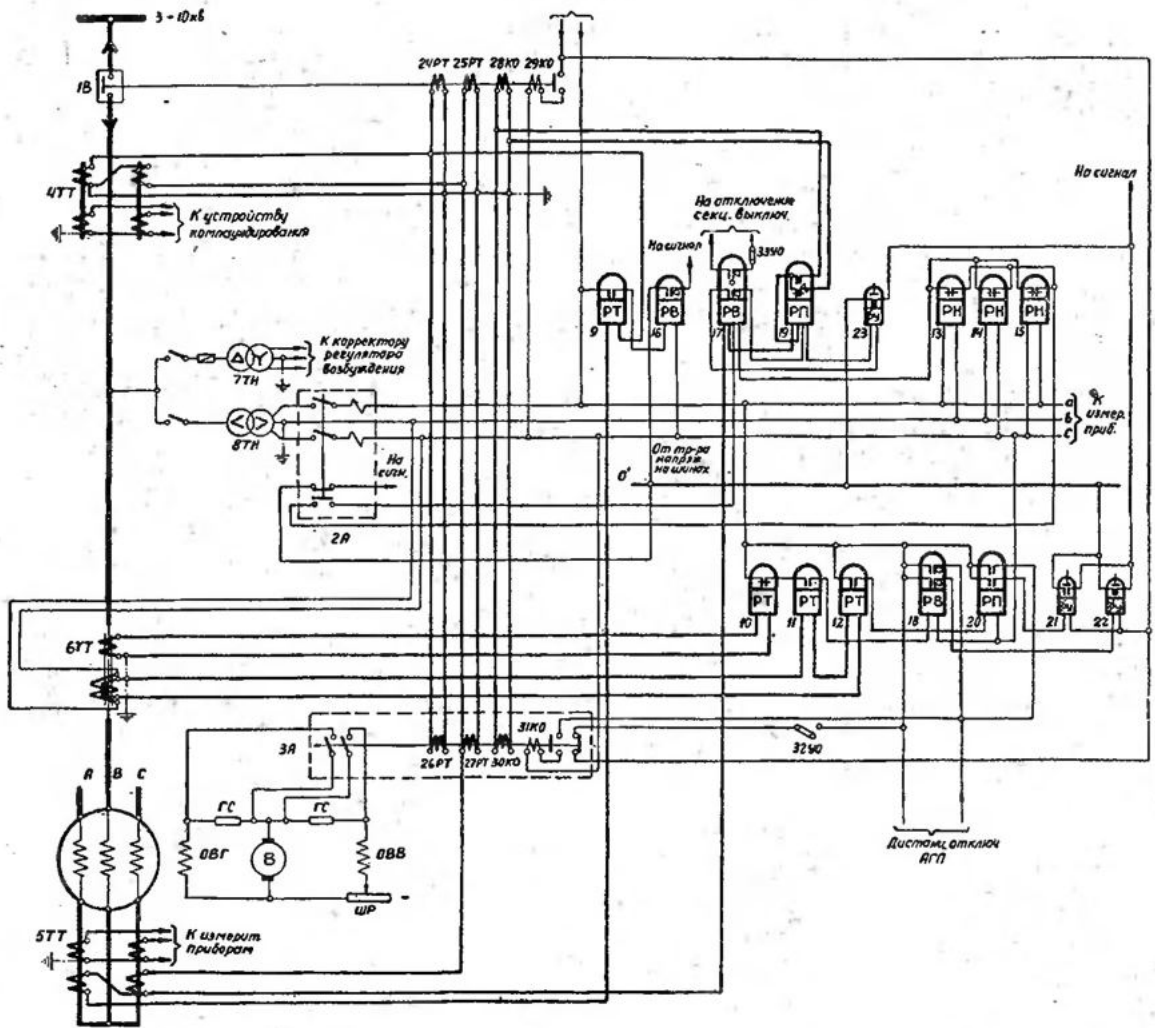
10) Следует отметить, что в целях упрощения в рассматриваемой схеме в качестве варианта предполагается применение устройства компаундирования (без корректора напряжения) для регулирования возбуждения.

Схема защиты турбогенератора 3—10 кв мощностью более 1 до 6 Мвт включительно на переменном оперативном токе — вариант 1 (рис. 12)

1) Схема дана для случая выполнения распределительного устройства генераторного напряжения с помощью шкафов КРУ. Аппаратура релейной защиты также помещается в КРУ.

2) В схеме предусмотрена продольная дифференциальная токовая защита в двухфазном исполнении с реле прямого действия (защита включена в фазы A и C). Реле прямого действия привода выключателя $24PT$, $25PT$ и автомата гашения поля $26PT$, $27PT$ включены параллельно (по аналогии со схемой рис. 11).

В принятом выполнении защита не реагирует на двойные замыкания на землю, когда в генераторе повреждена фаза B . В связи с этим для быстрого отключения указанных повреждений предусмотрена токовая защита нулевой последовательности от двойных замыканий на землю (реле $12PT$), приключен-



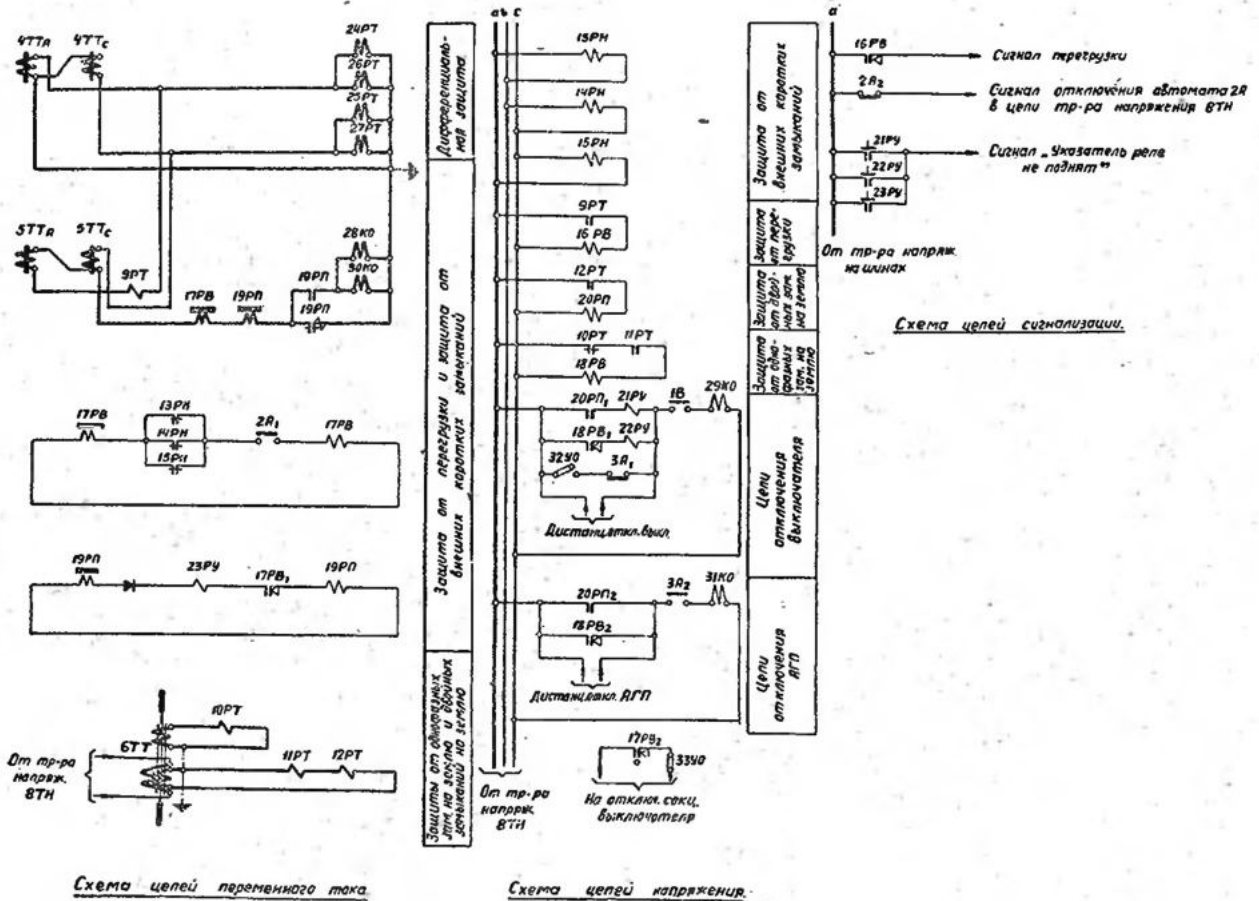


Рис. 12. Схема защиты турбогенератора 3—10 кв мощностью более 1 до 6 Мвт включительно на переменном оперативном токе — вариант 1.

1В—выключатель; 2А—автомат; 3А—автомат; 4ТТ, 5ТТ—трансформаторы тока; 6ТТ—трансформатор тока нулевой последовательности типа ТНПШ; 7ТН, 8ТН—трансформаторы напряжения; 9РТ, 12РТ—реле тока типа ЭТ-521; 10РТ—реле тока типа ЭТ-523/0,2; 11РТ—реле тока типа ЭТД-551/60; 13РН—15РН—реле напряжения типа ЭН-529/160; 16РВ—реле времени типа ЭВ-237; 17РВ—реле времени типа РВМ; 18РВ—реле времени типа ЭВ-228; 19ПИ—реле промежуточное типа РП-341; 20ПИ—реле промежуточное типа РП-25; 21РУ, 22РУ—реле указательные серпесные типа ЭС-21/1; 23РУ—реле указательное серпесное типа ЭС-21/0,05; 24РТ—27РТ—реле тока прямого действия без замедления типа РТМ; 28КО, 30КО—катушки отключения; 29КО, 31КО—катушки отключения; 32УО, 33УО—устройства отключающие типа НКР-2.

ная к трансформатору тока нулевой последовательности установленной на генераторе защиты от однофазных замыканий на землю.

Выходное промежуточное реле $20PП$ защиты от двойных замыканий на землю и катушки отключения привода выключателя $29КО$ и автомата гашения поля $31КО$ включены на междуфазное напряжение U_{AC} , которое мало изменяется при двойных замыканиях на землю, охватывающих фазу B (фазы A и B , а также B и C).

3) Защита от внешних коротких замыканий выполнена с тремя реле напряжения (без реле тока). При коротком замыкании реле напряжения $13PH—15PH$ запускают серьезное реле времени $17PB$, которое замыкает цепь промежуточного реле $19PП$, дешунтирующего параллельно включенные катушки отключения выключателя и АГП.

Особенности выполнения рассматриваемой защиты следующие.

а) В связи с ограниченным числом катушек отключения, встраиваемых в приводы выключателей и АГП, защита от внешних коротких замыканий выполнена с реле косвенного действия и с использованием одной катушки отключения в каждом из указанных приводов ($28КО$ и $30КО$), включенной на разность токов двух фаз. Реле времени $17PB$ и промежуточное реле $19PП$ защиты также включены на разность токов двух фаз. Недостатком такого включения является возможность отказа защиты при замыканиях между двумя фазами за трансформатором с соединением $Y/\Delta-11$. Однако в данной схеме нет особой необходимости в обеспечении действия промежуточного реле, реле времени и катушек отключения при указанном повреждении, поскольку реле напряжения практически отказывают в действии при замыкании между двумя фазами за трансформатором.

б) Для предотвращения неправильного отключения генератора при коротких замыканиях во вторичных цепях трансформатора напряжения $8TH$, от которого питаются реле напряжения, в указанных цепях вместо предохранителей предусмотрен автомат $2A$. При коротком замыкании в цепях напряжения автомат отключается и через его размыкающий блок-контакт подается сигнал, а замыкающим блок-контактом разрывается цепь обмотки реле времени $17PB$ защиты.

Недостатком такого выполнения схемы является возможность неправильного действия защиты при обрывах во вторичных цепях трансформатора напряжения. Для предотвращения указанного тока срабатывания кату-

шек отключения $28КО$ и $30КО$ должен был бы быть принят большим $\sqrt{3}I_{ном}$, что привело бы к недопустимому заглублению защиты. В связи с этим в рассматриваемой схеме в целях повышения чувствительности защиты, учитывая редкие случаи обрывов цепей напряжения, ток срабатывания реле $17PB$, $19PП$ и катушек отключения $28КО$ и $30КО$ принимается меньшим номинального.

Следует отметить, что при наличии приводов с числом катушек отключения более четырех целесообразно предусматривать промежуточные реле и катушки в двух фазах и выбрать ток срабатывания их большим номинального для предотвращения возможности неселективного отключения генератора при обрывах в цепях напряжения в нормальном нагрузочном режиме.

в) Для питания катушек отключения $28КО$ и $30КО$ защиты от внешних коротких замыканий в целях экономии не предусматриваются отдельные трансформаторы тока, а используются те же трансформаторы тока, что и для дифференциальной защиты ($5TT$).

При таком выполнении схемы в случае действия при повреждении в генераторе защиты от внешних коротких замыканий (отказ дифференциальной защиты) токи в отключающих катушках $28КО$ и $30КО$ могут оказаться недостаточными для отключения выключателя и АГП. Однако возможность ликвидации повреждения в генераторе защитой от внешних коротких замыканий при отказе дифференциальной маловероятна ввиду того, что отказ последней, как правило, связан с неисправностью привода.

Защита от внешних коротких замыканий с первой выдержкой времени действует на отключение секционного выключателя (от временно замыкающего контакта реле времени $17PB$)¹, а со второй — на отключение генератора.

4) Защита от однофазных замыканий на землю выполнена с использованием трансформатора тока нулевой последовательности шинного типа с подмагничиванием $6TT$ и реле тока $11PT$.

Блокировка защиты при внешних коротких замыканиях осуществляется с помощью реле тока $10PT$, приключенного к специальной блокировочной обмотке, размещенной на магнитопроводах трансформатора тока.

Защита выполнена с выдержкой времени, осуществляемой с помощью шунтового реле времени $18PB$ типа ЭВ-228.

¹ Цепи отключения секционного выключателя на схеме не показаны.

5) Защита от перегрузки выполнена с реле тока *9РТ* и шунтовым реле времени *16РВ*.

6) Гашение поля осуществляется дешунтированием сопротивлений в цепях обмоток возбуждения генератора и возбуждителя с помощью специального двухполюсного автомата, в который могут быть встроены четыре катушки отключения или реле прямого действия.

Схема защиты турбогенератора 3—10 кВ мощностью более 1 до 6 Мвт включительно на переменном оперативном токе — вариант 2 (рис. 13)

1) Рассматриваемая схема отличается от схемы рис. 12 выполнением защиты от однофазных замыканий на землю и устройства гашения поля.

2) Защита от замыканий на землю выполнена с использованием трансформатора тока нулевой последовательности кабельного типа с подмагничиванием и не имеет блокировки при внешних коротких замыканиях.

3) В схеме предполагается осуществление гашения поля таким же образом, как и для генераторов при осуществлении их защиты на постоянном оперативном токе (см. гл. 1, п. «А», 11). Питание цепи АГП осуществляется от возбуждителя генератора (по предложению Промэнергопроекта). При этом указанный автомат должен быть рассчитан на большой диапазон колебаний напряжения на шинах возбуждения в различных режимах работы генератора (холостой ход и форсировка).

4) Импульс на отключение АГП подается от блок-контакта выключателя *1В₁*.

5) Для обеспечения возможности включения АГП одиночного генератора до включения его на нагрузку, а также при точной синхронизации в цепи отключения АГП последовательно с блок-контактом *1В₁* предусмотрены контакты ключа управления выключателя, замыкающиеся после включения последнего (после разрыва цепи отключения АГП замыкающим блок-контактом выключателя *1В₁*).

В целях обеспечения отключения АГП без выдержки времени, в случае возникновения повреждения в генераторе до включения выключателя, в схеме предусмотрено шунтирование указанных контактов ключа управления контактом промежуточного реле *17РП* защиты от внешних коротких замыканий и контакта реле времени *15РВ₁* блок-контактом выключателя *1В₂*.

Схема защиты турбогенератора 6—10 кВ мощностью более 1 до 12 Мвт включительно на переменном оперативном токе (рис. 14)

1) В отличие от схем рис. 12 и 13 рассматриваемая схема дана для случая применения распределительного устройства незаводского исполнения, в связи с чем к ней предъявляются менее жесткие требования в части экономии релейного оборудования.

2) Дифференциальная защита выполнена двухфазной с реле тока типа ЭТ-521 (*8РТ*, *9РТ*) и с включением добавочных сопротивлений в цепи обмоток реле (*40СД*, *41СД*). Реле тока замыкают цепь промежуточных реле *22РП* и *23РП*, которые дешунтируют катушку отключения *3ЗКО* и одновременно исключают из дифференциальной цепи сопротивления. Последнее предусмотрено в целях снижения нагрузки на трансформаторы тока после дешунтирования катушки отключения. В тех случаях, когда нагрузка на трансформаторы тока, обусловленная добавочными сопротивлениями и катушкой отключения, оказывается допустимой, указанные сопротивления могут не исключаться из дифференциальной цепи при срабатывании защиты; при этом для целей дешунтирования катушки отключения требуется только одно промежуточное реле, включенное на разность токов двух фаз дифференциальной цепи.

Вследствие ограниченного числа катушек отключения, встраиваемых в привод выключателя, для дифференциальной защиты используется одна катушка отключения, включенная на разность токов двух фаз дифференциальной цепи. В соответствии с этим промежуточные реле *22РП* и *23РП* также включены на разность токов двух фаз. Чувствительность защиты при этом не снижается, так как реагирующие реле тока *8РТ* и *9РТ* включены на фазные токи.

В целях повышения надежности действия защиты, учитывая наличие свободного контакта у промежуточного реле *22РП*, в схеме предусмотрено самоудерживание реле *22РП* и *23РП*.

При действии дифференциальной защиты замыкающий контакт промежуточного реле *23РП* подает импульс на отключение устройства АГП, которое предусмотрено с питанием цепей отключения от возбуждителя генератора (по аналогии со схемой рис. 13).

3) Защиты от однофазных замыканий на землю (реле *11РТ* и *19РВ*) и от двойных замыканий на землю (реле *12РТ* и *25РП*) выполнены подобно таковым в схеме рис. 12. При действии указанных защит импульсы на

отключение выключателя и АГП подаются соответственно от контактов реле 19РВ и 25РП.

4) Защита от внешних коротких замыканий ввиду большей мощности генератора, а также менее жестких требований к уменьшению количества реле, чем в схемах рис. 12 и 13, выполнена в виде максимальной токовой защиты с комбинированным пуском напряжения. Пусковой орган напряжения со-

держит устройство фильтр-реле напряжения обратной последовательности (17РНФ), в цепи размыкающего контакта которого предусмотрено минимальное реле напряжения 18РН, включенное на междуфазное напряжение, для действия при симметричных повреждениях. Токвый орган содержит три реле тока 14РТ—16РТ. Защита в принятом исполнении чувствительна к замыканиям между двумя фазами на стороне высшего напряже-

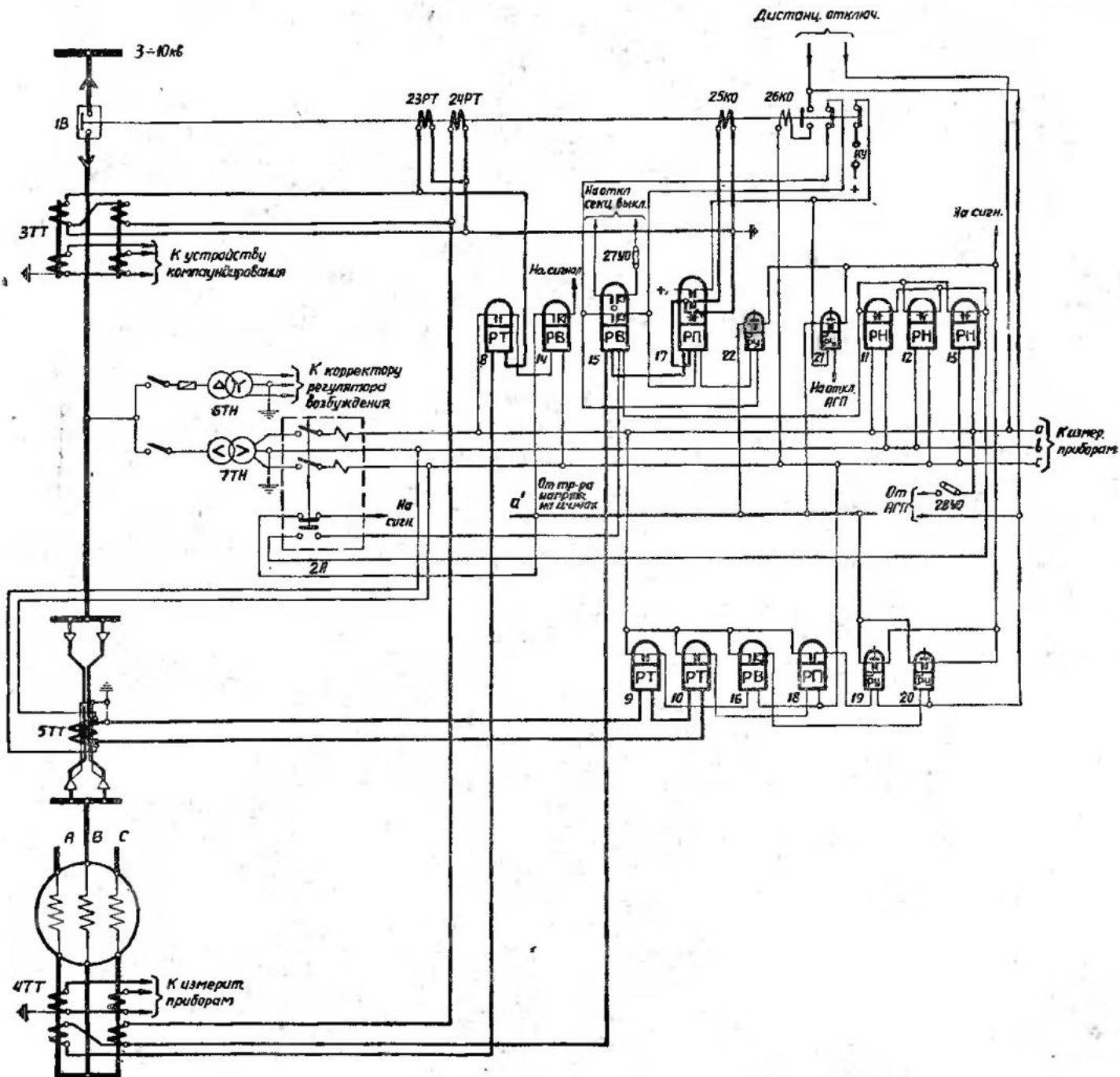


Рис. 13. Схема защиты турбогенератора 3—10 кВ мощностью более 1 до

1 В—выключатель; 2А—автомат типа АП25-2М; 3ТТ, 4ТТ—трансформаторы тока; 5ТТ—трансформатор тока нулевой последовательности или ЭТД-561/60; 11РН—13РН—реле напряжения типа ЭН-529/160, 14РВ—реле времени типа ЭВ-237; 15РВ—реле времени типа РВМ; 21РУ—реле указательные серийные типа ЭС-21/1; 22РУ—реле указательное серийное типа ЭС-21/0,05; 23РТ, 24РТ—реле тока отключающие

ния трансформатора связи с соединением Y/Δ -II.

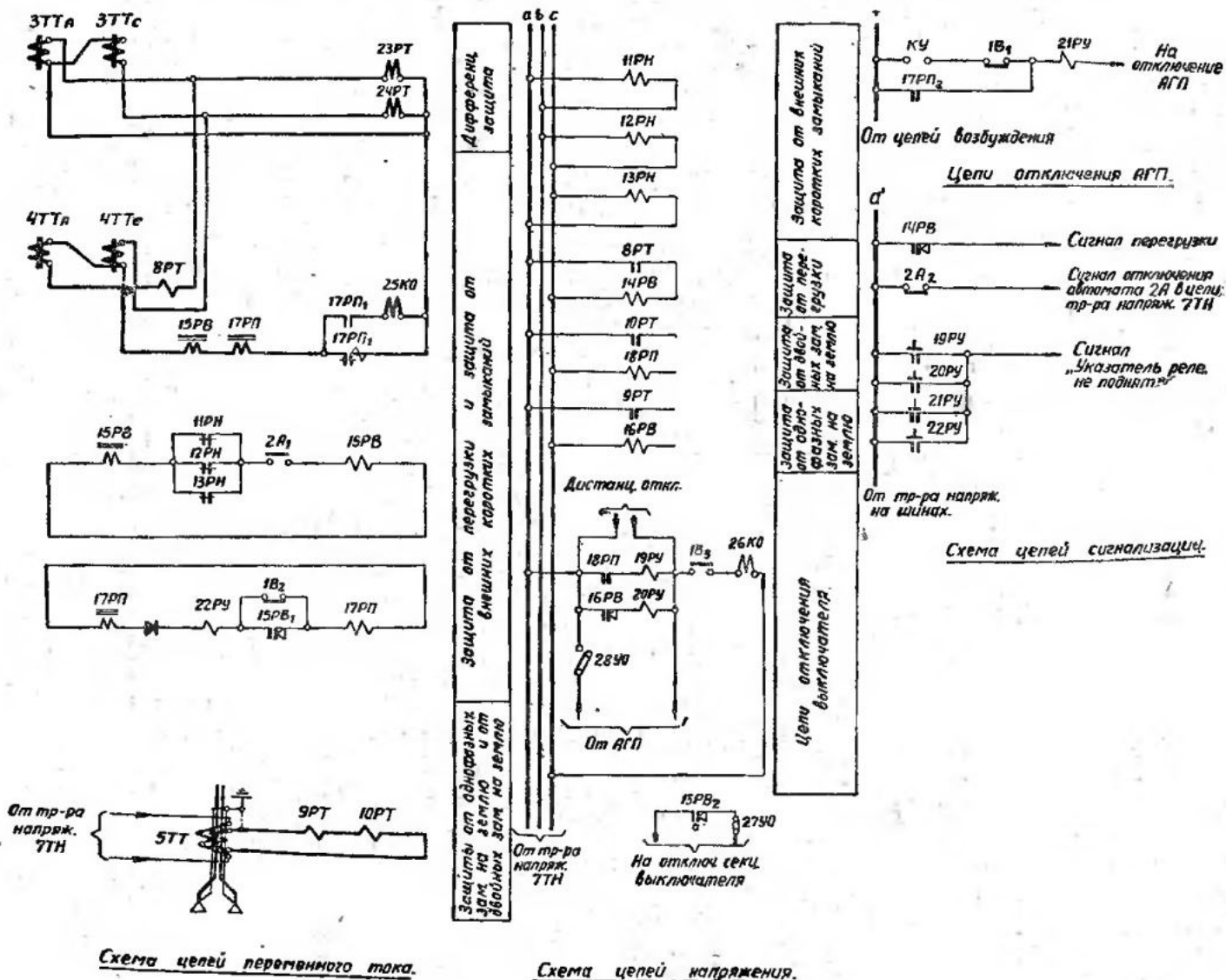
В целях экономии защита выполнена с одним реле времени $21PB$ (серийного типа). Для обеспечения действия защиты при различных видах коротких замыканий запуск реле времени $21PB$ выполняется таким образом, что обмотка реле питается или от промежуточного трансформатора в фазе А, или от промежуточного трансформатора в фазе С.

В нормальном режиме контакт реле $18PH$ замкнут и реле $24PP$ находится под напряжением. При этом цепь реле времени $21PB$ защиты и цепь сигнализации перегорания предохранителей трансформатора напряжения $7TH$ оказываются разомкнутыми на размыкающих контактах промежуточного реле

$24PP$. Реле $18PH$ в рассматриваемой схеме в отличие от схем на постоянном оперативном токе принято с замыкающим контактом для обеспечения действия шунтового промежуточного реле $24PP$ в случае снижения (или полного исчезновения) напряжения при коротком замыкании.

При срабатывании реле времени $21PB$ срабатывают промежуточные реле $26PP$ и $27PP$, предусмотренные в двух фазах. Реле $26PP$ и $27PP$ дешунтируют катушки отключения выключателя $34KO$ и $35KO$, также предусмотренные в двух фазах, и действуют на отключение АГП.

В рассматриваемой схеме не предусмотрено самоудерживание реле $26PP$ и $27PP$, в предположении, что после дешунтирования



6 Мвт включительно на переменном оперативном токе — вариант 2.
ности типа ТНП; $6TH$, $7TH$ — трансформаторы напряжения; $8PT$, $10PT$ — реле тока типа ЭТ-521; $9PT$ — реле тока типа ЭТ-521/0,2; $16PB$ — реле времени типа ЭВ-227; $17PP$ — реле промежуточное типа РП-341; $18PP$ — реле промежуточное типа РП-25; $19PY$ — прямого действия без замедления типа РТМ; $25KO$ — катушка отключения; $26KO$ — катушка отключения; $27YU$, $28YU$ — устройства типа НКР-2.

ими катушек отключения реле тока 14РТ—16РТ надежно держат свои контакты замкнутыми. Если указанное условие не соблюдается (что должно быть проверено расчетом), необходимо предусмотреть еще два промежуточных реле и на контактах этих реле выполнить самоудерживание.

По аналогии со схемами рис. 12 и 13 предусмотрена подача импульса от защиты от

внешних коротких замыканий на отключение секционного выключателя.

5) Защита от перегрузки выполнена с реле тока 13РТ и шунтовым реле времени 20РВ.

Схема защиты турбогенератора 3—10 кВ мощностью более 1 до 50 Мвт, выполненная с блоком питания (рис. 15)

1) Схема дана для случая установки на генераторе выключателя, оборудованного со-

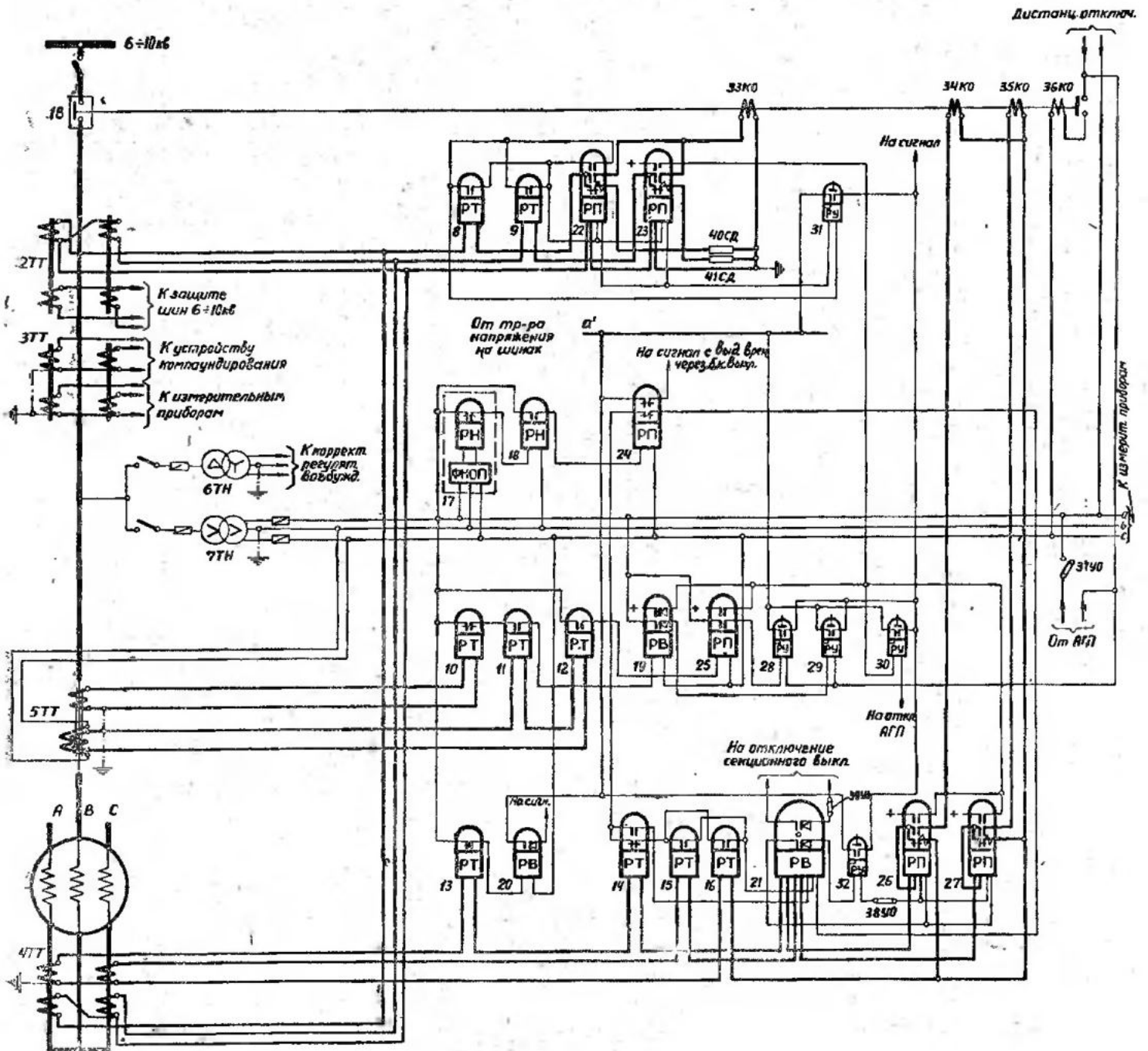


Рис. 14. Схема защиты турбогенератора 6—10 кВ мощностью более

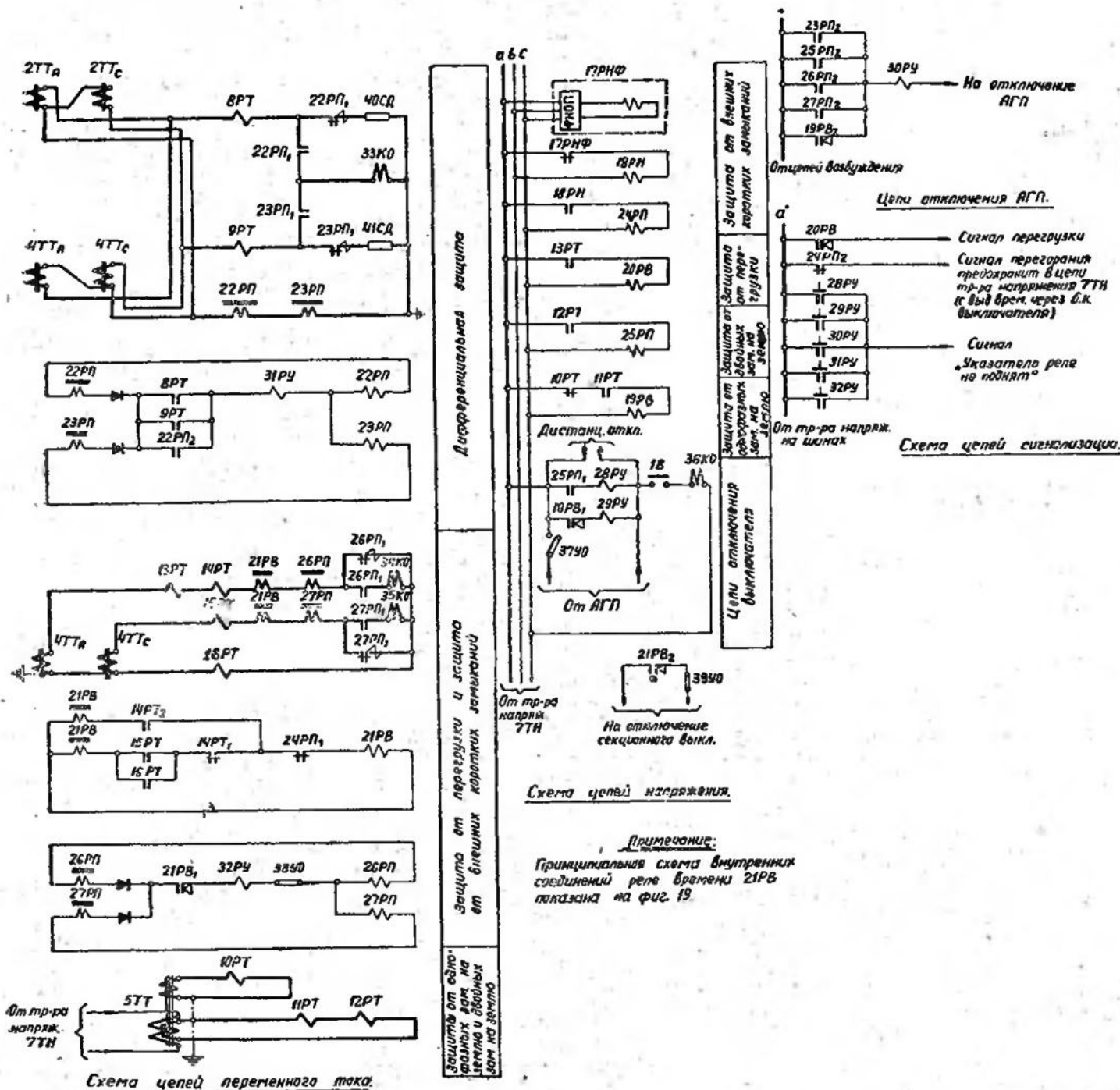
1В—выключатель; 2ТТ—4ТТ—трансформаторы тока; 5ТТ—трансформатор тока нулевой последовательности типа ТНПШ; 6ТН, 11РТ—реле тока типа ЭТД-551/60; 14РТ—реле тока типа ЭТ-523; 17РНФ—фильтр-реле напряжения обратной последовательности; 21РВ—реле времени типа РВМ; 22РТ, 23РТ, 26РТ, 27РТ—реле промежуточные типа РП-341; 24РТ, 25РТ—реле промежуточные; 33КО—35КО—катушки отключения; 36КО—катушка отключения; 37УО—39УО—устройства

леноидным приводом типа ПС с потреблением катушки отключения порядка 500 вт, и применения автомата гашения поля с потреблением катушки отключения не более 500 вт.

2) Для питания цепей отключения выключателя и АГП, а также для питания оперативных цепей защиты в схеме предусмотрен блок питания типа БП-1000, разработанный ВНИИЭ и намечаемый к выпуску Чебоксарским электроаппаратным заводом. Блок питания БП-1000 рассчитан на отдаваемую мощность порядка 800—1200 вт и может обеспечить надежное действие двух соленоидных приводов одновременно.

3) Схема содержит двухфазную дифференциальную защиту, выполненную с реле типа

ВНИИЭ и намечаемый к выпуску Чебоксарским электроаппаратным заводом. Блок питания БП-1000 рассчитан на отдаваемую мощность порядка 800—1200 вт и может обеспечить надежное действие двух соленоидных приводов одновременно.



1 до 12 Мвт включительно на переменном оперативном токе.

7ТН—трансформаторы напряжения; 8РТ, 9РТ, 12РТ, 13РТ, 15РТ, 16РТ—реле тока типа ЭТ-521; 10РТ—реле тока типа ЭТ-523/0.2; типа РНФ-1; 18РН—реле напряжения типа ЭН-529/160; 19РВ—реле времени типа ЭВ-228; 20РВ—реле времени типа ЭВ-237; типа РП-25; 28РУ—30РУ—реле указательные серийные типа ЭС-21/1; 31РУ, 32РУ—реле указательные серийные типа ЭС-21/0.05; отключающие типа НКР-2; 40СД, 41СД—сопротивления добавочные 5 ом типа ПЭ-150.

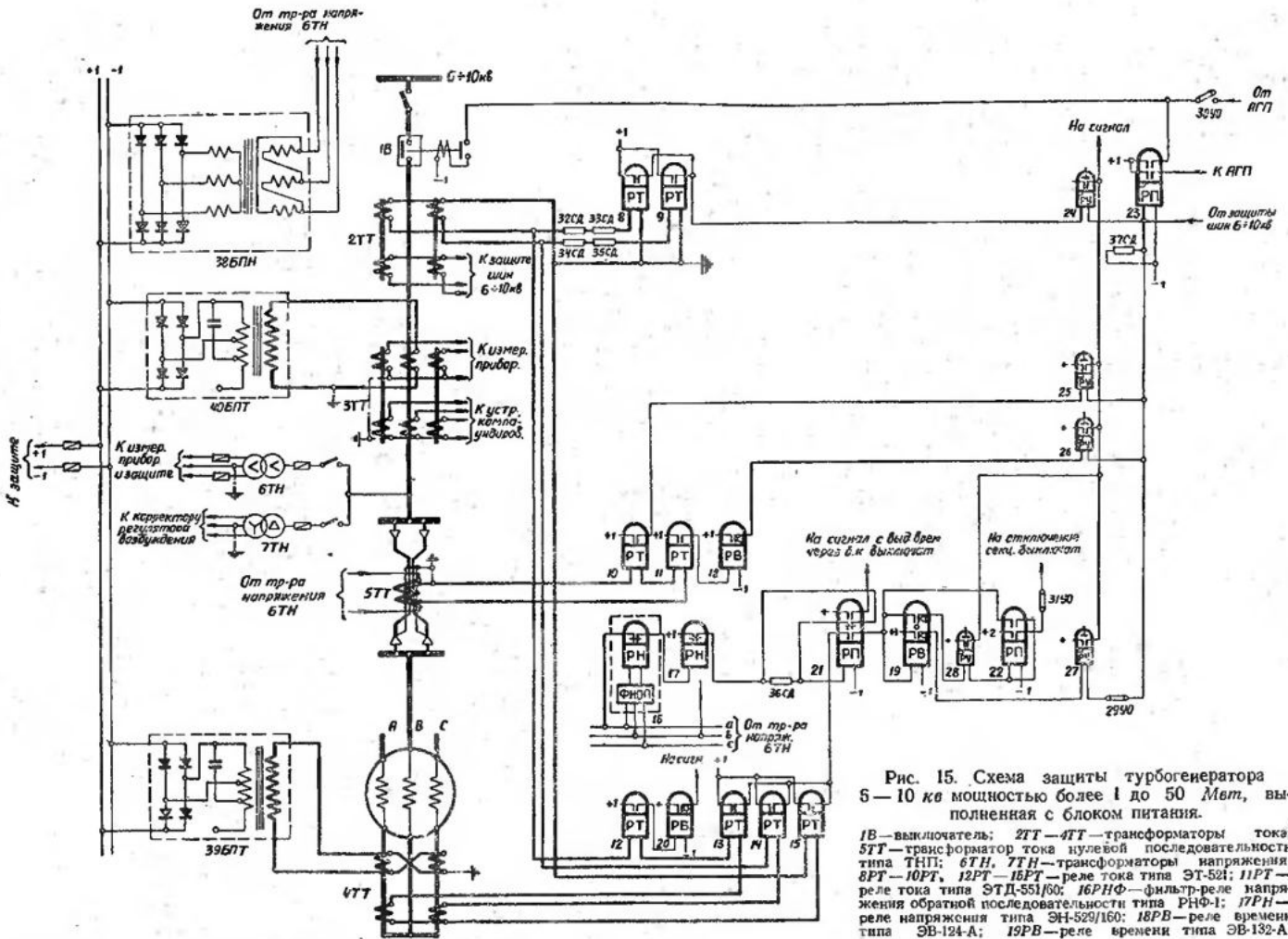


Рис. 15. Схема защиты турбогенератора 6—10 кв мощностью более 1 до 50 Мвт, выполненная с блоком питания.

1В—выключатель; 2ТТ—4ТТ—трансформаторы тока; 5ТТ—трансформатор тока нулевой последовательности типа ТНП; 6ТН, 7ТН—трансформаторы напряжения; 8РП—10РП, 12РП—16РП—реле тока типа ЭТ-52А; 11РП—реле тока типа ЭТД-551/60; 16РПФ—фильтр-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1; 17РП—реле напряжения типа ЭН-529/160; 18РПВ—реле времени типа ЭВ-124-А; 19РПВ—реле времени типа ЭВ-132-А; 20РПВ—реле времени типа ЭВ-133-А; 21РП, 22РП—реле промежуточные типа РП-23; 23РП—реле промежуточное типа РП-24; 24РУ—27РУ—реле указательные серийные типа ЭС-21/0,025; 28РУ—реле указательное серийное типа ЭС-21/0,015; 29УО—31УО—устройства отключающие типа НКР-2; 32СД—35СД—сопротивления добавочные 6 ом типа ПЗ-150; 36СД—сопротивление добавочное; 37СД—сопротивление добавочное 4 500 ом типа ПЗ-50; 38БПН—блок питания; 39БПН, 40БПН—блоки питания.

ЭТ-520 (8РТ, 9РТ) и с включением добавочного сопротивления в цепи обмоток реле (32СД—35СД).

Защита от однофазных замыканий на землю (реле 11РТ и 18РВ) и от двойных замыканий на землю (реле 10РТ) выполнена с использованием трансформатора тока нулевой последовательности кабельного типа.

Защита от внешних коротких замыканий (реле 13РТ—15РТ, 16РНФ и 17РН) выполнена в виде максимальной токовой защиты с комбинированным пуском напряжения (по аналогии со схемой рис. 1).

4) Блок питания состоит из одного трехфазного элемента напряжения 38БПН и двух токовых элементов 39БПТ и 40БПТ, один из которых включен на разность токов фаз А и С со стороны нейтрали генератора (39БПТ), а другой — на ток фазы В со стороны выводов генератора к сборным шинам (40БПТ).

Назначением элемента 40БПТ является обеспечение питания цепей защиты и цепей отключения при трехфазных коротких замыканиях в генераторе, включаемом методом самосинхронизации. Отсутствие элемента 40БПТ привело бы к затягиванию ликвидации повреждения, так как защита могла бы начать действовать только после включения АГП.

Питание каждого из токовых элементов от одного сердечника трансформаторов тока предусмотрено в предположении, что при этом от трансформаторов тока может быть получена требуемая мощность. В противном случае для питания токовых элементов используются последовательно соединенные обмотки двух сердечников трансформаторов тока.

Элемент напряжения выполняется в двух модификациях: меньшей мощности — для работы от трансформаторов напряжения и большей мощности — для работы от источника собственных нужд. В рассматриваемой схеме используется первая модификация в предположении, что мощность элемента напряжения оказывается достаточной для отключения выключателя и АГП.

5) Следует отметить, что при небольшой нагрузке на блок питания напряжение на его выходе может достигать в нормальном режиме 140—150 в. В связи с этим для обеспечения термической устойчивости промежуточного реле 21РП, которое может длительно находиться под напряжением, после его срабатывания последовательно с обмоткой реле вводится добавочное сопротивление 36СД.

6) Питание цепей сигнализации осуществляется от общестанционного источника постоянного тока.

Схема защиты гидрогенератора 3—10 кв мощностью более 1 до 50 Мвт, выполненная с питанием цепей отключения от конденсаторных устройств, для станций без постоянного дежурства обслуживающего персонала на щите управления (рис. 16)

1) Схема предназначена для гидрогенератора, установленного на ГЭС без постоянного дежурства обслуживающего персонала на щите управления.

Предполагается, что на генераторе предусмотрен выключатель, оборудованный соленоидным приводом типа ПС с потреблением порядка 500 вт.

2) В схеме предусмотрены те же защиты, что и на рис. 5.

Гашение поля генератора выполняется так же, как и в схемах на постоянном оперативном токе (см. гл. I, п. «А», 11).

3) В рассматриваемой схеме питание цепей отключения выключателя и АГП осуществляется от конденсаторных устройств.

Питание оперативных цепей защит осуществляется от трансформаторов тока и напряжения.

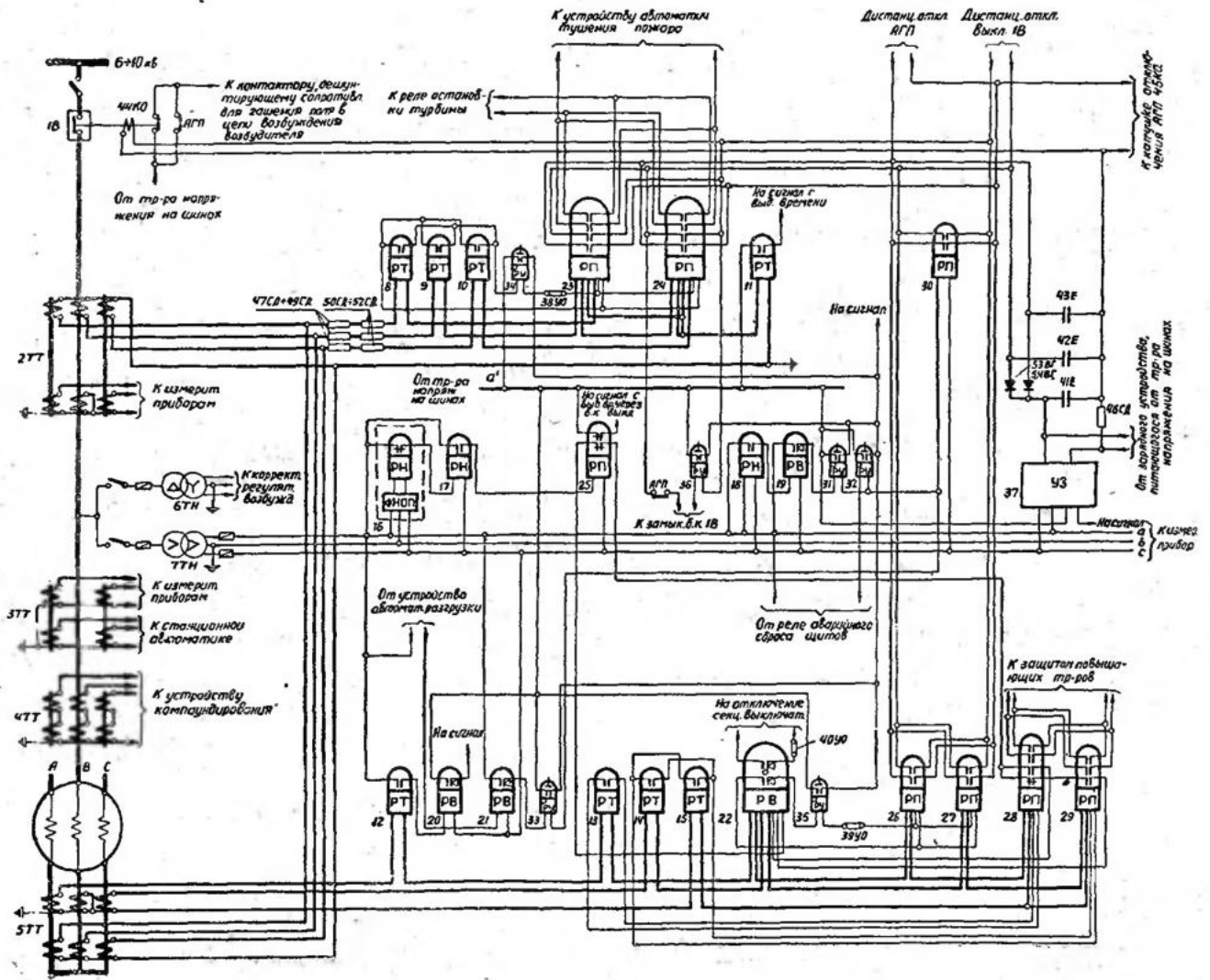
4) Дифференциальная защита выполнена трехфазной, с тремя реле тока (8РТ—10РТ) типа ЭТ-520 и добавочными сопротивлениями в цепи обмоток реле (47СД—52СД), с током срабатывания, большим номинального.

В целях экономии оборудования защита выполнена не с тремя, а с двумя промежуточными реле 23РП и 24РП, каждое из которых в целях обеспечения действия защиты как при междуфазных коротких замыканиях, так и двойных замыканиях на землю включено соответственно на разность токов фаз А и В и В и С. При таком включении ток срабатывания промежуточных реле, равный 2,5 а (по каталогу) при замыканиях между фазами А и В или В и С, увеличивается до 5 а при замыканиях между фазами А и С. Однако указанное не приводит к загромождению дифференциальной защиты, поскольку ток срабатывания реле тока 8РТ—10РТ выбран большим номинального.

В схеме предусмотрено реле тока 11РТ, включенное в нулевой провод дифференциальной цепи и действующее на сигнал с выдержкой времени при нарушениях вторичных цепей защиты.

Дифференциальная защита действует на отключение выключателя, АГП, на остановку турбины и запуск устройства автоматического тушения пожара.

5) Защита от внешних коротких замыканий выполнена в виде максимальной токовой



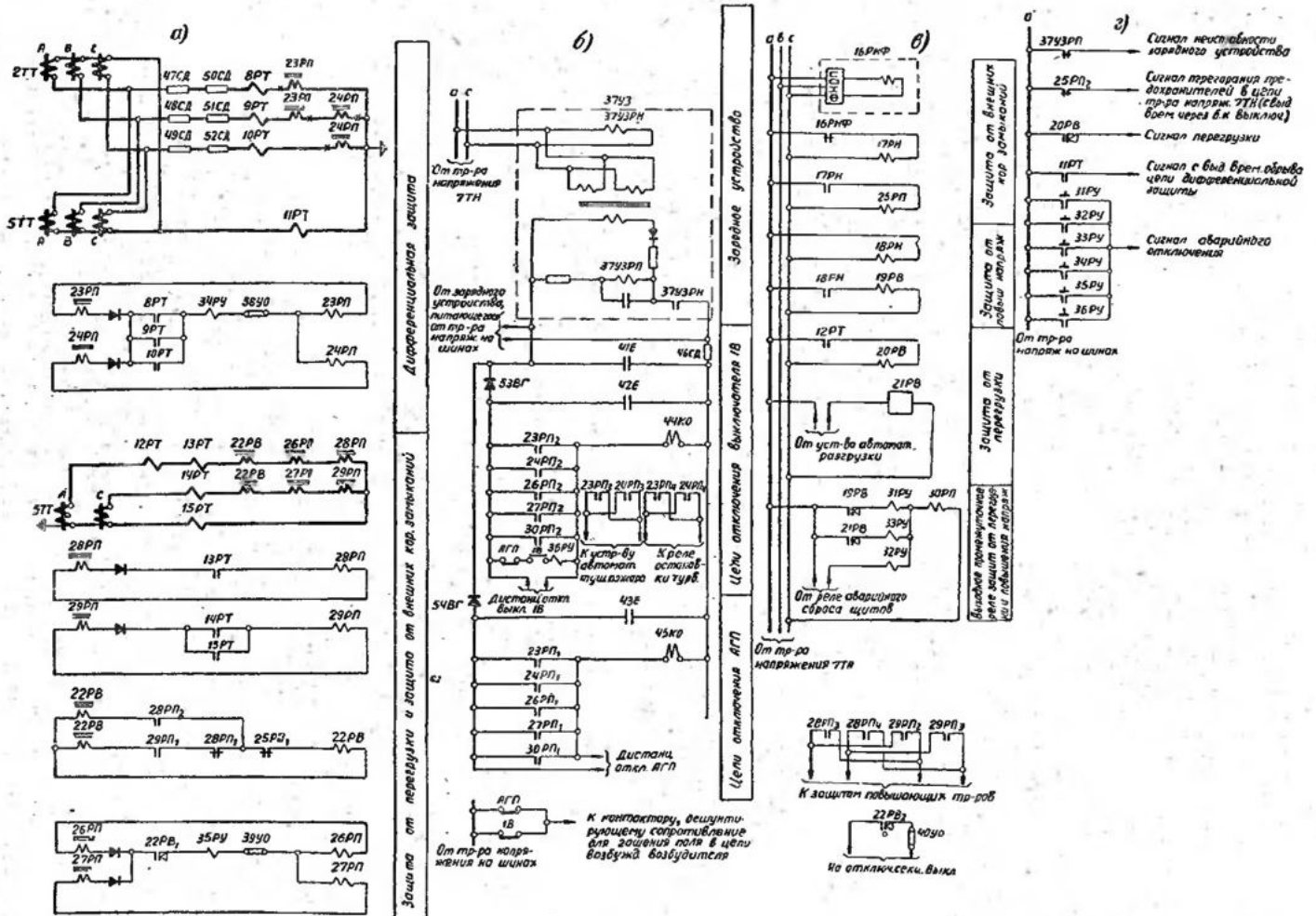


Рис. 16. Схема защиты гидрогенератора 6—10 кв мощностью более 1 до 50 Мвт, выполненная с питанием цепей отключения от конденсаторных устройств, для станций без постоянного дежурства обслуживающего персонала на щите управления.

а) — схема цепей переменного тока; б) — цепи отключения выключателя и АГП; в) — схема цепей напряжения; г) — схема цепей сигнализации.

1 В — выключатель; 2 ТТ — 5 ТТ — трансформаторы тока; 6 ТН, 7 ТН — трансформаторы напряжения; 8 ПТ — 10 ПТ, 12 ПТ — 15 ПТ — реле тока типа ЭТ-521; 11 ПТ — реле тока типа ЭТ-521/2; 16 РНФ — фильтр-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1; 17 РН — реле напряжения типа ЭН-529/160; 18 РН — реле напряжения типа ЭН-524/200; 19 РВ — реле времени типа ЭВ-217; 20 РВ — реле времени типа ЭВ-237; 21 РВ — реле времени типа РЕТ-1200; 22 РВ — реле времени типа РЕМ; 23 РП, 24 РП, 26 РП — 29 РП — реле промежуточные типа РП-25; 25 РП, 30 РП — реле промежуточные типа РП-25; 31 РУ — 33 РУ, 36 РУ — реле указательные типа ЭС-21/0,05; 34 РУ, 36 РУ — реле указательные серийные типа ЭС-21/0,05; 37 УЗ — устройство зарядное типа УЗ-400; 38 УО — 40 УО — устройства отключающие типа НКР-2; 41 К — 43 К — конденсаторы; 44 К, 45 К — катушки отключения; 46 СД — сопротивление добавочное; 47 СД — 52 СД — сопротивления добавочные 5 ом типа ПЭ-15; 53 ВГ, 54 ЕГ — выпрямители германиевые.

Примечание. Значком * отмечены однополярные зажимы промежуточных трансформаторов реле 23 РП и 24 РП.

защиты с комбинированным пуском напряжения (по аналогии с рис. 14).

В рассматриваемой схеме реле тока защиты генератора используются для дополнительного пуска максимальной токовой защиты с пуском напряжения повышающих трансформаторов в целях повышения чувствительности последней. В связи с указанным для размножения контактов реле тока *13РТ—15РТ*, которые должны также действовать на запуск реле времени *22РВ*, в схеме предусмотрены промежуточные реле *28РП* и *29РП*.

6) Защита от повышения напряжения выполнена с реле напряжения *18РН* и реле времени *19РВ*.

7) На генераторе установлено устройство автоматической разгрузки, разработанное ОАТН ГИДЭП. При неэффективности разгрузки указанное устройство через реле времени (реле *21РВ*) действует на отключение генератора.

8) Защиты от внешних коротких замыканий, повышения напряжения и перегрузки действуют на отключение выключателя генератора и АГП.

9) Конденсаторы *42Е* и *43Е*, предусмотренные соответственно для питания цепей отключения выключателя и АГП, в нормальном режиме заряжаются от трансформатора напряжения *7ТН* в цепи генератора через зарядное устройство *37УЗ*.

В целях обеспечения ликвидации повреждения при включении генератора методом самосинхронизации на короткое замыкание в схеме предусмотрено дополнительно зарядное устройство, питаемое от трансформатора напряжения, установленного на сборных шинах, и обуславливающее в этом режиме наличие заряда конденсаторов *42Е* и *43Е*. Это устройство является общим для всех генераторов данной секции сборных шин. Такое объединение цепей нескольких генераторов является недостатком рассматриваемой схемы.

Для разделения цепей разряда конденсаторов, питающих катушки отключения выключателя и АГП, предусмотрены специальные выпрямители (*53ВГ* и *54ВГ*).

10) Зарядное устройство содержит поляризованное реле *37УЗРП* с размыкающим контактом, предназначенное для сигнализации пробоя выпрямителей устройства, пробоя конденсаторов и короткого замыкания на их выводах, а также обрыва цепи заряда конденсаторов.

Ввиду того, что поляризованное реле получает питание от зарядного устройства по однополупериодной схеме выпрямления, для

исключения сигнализации в нормальном режиме предусматривается конденсатор *41Е* ($4-5 \text{ мкФ}$), разряжающийся на реле *37УЗРП* в полупериод, когда оно не получает питания от зарядного устройства.

В целях предотвращения повреждения зарядного устройства при пробое его выпрямителей, а также пробое конденсаторов или коротком замыкании на их выводах в схеме предусмотрено токоограничивающее сопротивление *46СД* порядка $1-500 \text{ ом}$.

11) В цепях катушек отключения выключателя и АГП не предусмотрены блок-контакты для разрыва этих цепей. Отказ от блок-контактов возможен в связи с тем, что ток в отключающей катушке при действии ее от разряда конденсатора протекает весьма кратковременно и что после возврата защит контакты последних размыкаются. При этом для исключения длительного наличия замкнутой цепи через блок-контакт АГП, предназначенный для отключения выключателя при потере возбуждения, последовательно с блок-контактом АГП предусматривается замыкающий блок-контакт выключателя.

12) В схеме предусмотрена подача импульса на гашение поля возбудителя при отключении выключателя в целях подготовки схемы к операции самосинхронизации. Для этого в цепи контактора, дешунтирующего сопротивление в цепи обмотки возбуждения возбудителя, предусматривается блок-контакт

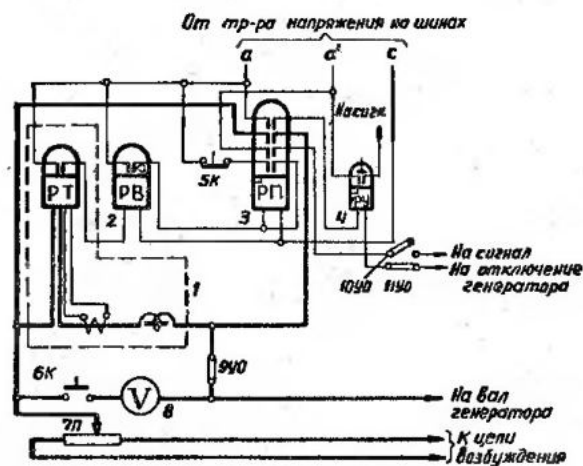


Рис. 17. Схема защиты от появления второго замыкания на землю в цепи возбуждения турбогенератора, действующей на отключение или на сигнал, на переносном оперативном токе.

1—комплект защиты ротора типа КЗР-1; 2РВ—реле времени; 3РП—реле промежуточное 4РУ—реле указательное типа ЭС-21; 5К, 6К—кнопки; 7П—потенциометр; 8V—вольтметр, 9УО—11УО—устройства отключающие типа НКР-2.

Примечания: 1. При действии защиты на сигнал должно быть включено устройство 10УО, а при действии на отключение — 11УО.

2. Защита устанавливается на переносной панели.

выключателя *IV*. Питание указанной цепи производится от постороннего источника напряжения (например, от трансформатора напряжения на шинах).

Схема защиты от появления второго замыкания на землю в цепи возбуждения турбогенератора, действующей на отключение или на сигнал, на переменном оперативном токе (рис. 17)

Схема выполнена подобно рис. 7 и содержит комплект защиты ротора КЗР-1, шун-

товое реле времени *2PB* и шунтовое промежуточное реле *ЗРП*.

Реле *2PB* и *ЗРП* питаются от трансформатора напряжения на шинах и должны иметь специальное исполнение, обеспечивающее надежное действие при пониженных напряжениях (порядка $0,5 U_{ном}$) в целях обеспечения срабатывания защиты в случае появления второго замыкания на землю в цепи возбуждения, сопровождающегося закорачиванием большого числа витков обмотки.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

РАСЧЕТ ЗАЩИТ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ И ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ

1. Общие положения

1) В общем случае расчеты защит сводятся к определению тока срабатывания по условиям селективности и определению коэффициента чувствительности для расчетного режима работы системы и вида короткого замыкания.

Для случаев, когда защита выполняется с включением на фазные токи (двухрелейная или трехрелейная схема), расчет чувствительности может быть весьма просто произведен по первичным величинам тока короткого замыкания и срабатывания защиты. Для случаев, когда защита выполняется с включением на разность фазных токов (например, при соединении трансформаторов тока в треугольник), может оказаться целесообразным расчет чувствительности производить по вторичным величинам токов.

Следует отметить, что при выполнении защиты с двумя или тремя реле тока расчет чувствительности производится для реле, обтекаемого наибольшим током короткого замыкания.

2) Приведенные в настоящей главе указания по расчету даны в предположении, что трансформаторы тока, используемые для дифференциальной защиты, токовой отсечки и максимальной токовой защиты, удовлетворяют кривым допустимой кратности при 10-процентной погрешности.

В случае применения переменного оперативного тока для дифференциальной защиты трансформаторы тока, выбранные по условию 10-процентной погрешности при внешних коротких замыканиях, должны дополнительно проверяться с точки зрения обеспечения на-

дежности действия реле прямого действия защиты или катушек отключения защиты (при выполнении последней по схеме с дешунтированием) при внутренних коротких замыканиях.

Для токовой отсечки и максимальной токовой защиты, выполненных на переменном оперативном токе, может возникнуть необходимость выбора трансформаторов тока, исходя из погрешностей, превышающих 10%.

Указанные особенности расчета защит на переменном оперативном токе будут даны в отдельном выпуске.

2. Продольная дифференциальная токовая защита генератора (рис. 1—6, 12—16)

1) Первичный ток срабатывания защиты $I_{с.с}$ выбирается по условию отстройки от максимального тока небаланса при переходном режиме внешнего короткого замыкания:

$$I_{с.с} \geq k_n I_{нб.расч} \quad (1)$$

где k_n — коэффициент надежности, учитывающий ошибку реле и необходимый запас; может быть принят равным 1,3.

2) Расчетный ток небаланса $I_{нб.расч}$, входящий в выражение (1), может быть определен следующим образом:

$$I_{нб.расч} = k_{апер} k_{одн} I_{к.с.макс} \quad (2)$$

где $k_{апер}$ — коэффициент, учитывающий переходный режим (наличие апериодической составляющей тока). При выполнении защиты с реле РНТ-562 принимается $k_{апер} = 1,0$ (учитывая наличие в насыщающемся трансфор-

маторе короткозамкнутой обмотки, усиливающей эффект отстройки от переходных токов небаланса), а при выполнении ее с реле ЭТ-520 и добавочным сопротивлением порядка 5—10 Ом или с реле РТМ этот коэффициент может быть принят равным $k_{\text{апер}} = 1,5—2,0$;

$k_{\text{одн}}$ — коэффициент однотипности трансформаторов тока, принимаемый равным 0,5;

f_i — относительная погрешность трансформаторов тока; с запасом принимается равной 0,1, поскольку трансформаторы тока выбираются по кривым допустимых кратностей при 10-процентной погрешности;

$I_{\text{к.з. макс}}$ — периодическая слагающая тока (при $t=0$), протекающего через трансформаторы тока защиты при внешнем трехфазном металлическом коротком замыкании на выводах генератора.

3) При выполнении защиты с током срабатывания, большим номинального (при использовании реле ЭТ-520 или РТМ, а в ряде случаев и РНТ-562, см. гл. 1), в дополнение к выражению (1) должно удовлетворяться следующее условие, которое практически всегда является расчетным:

$$I_{\text{с.з}} \geq k_n I_{\text{ном.ген}} \quad (3)$$

где k_n — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,3;

$I_{\text{ном.ген}}$ — номинальный ток генератора.

4) Коэффициент чувствительности $k_{\text{ч}}$ защиты равен:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.з. мин}}}{I_{\text{с.з}}}, \quad (4)$$

где $I_{\text{к.з. мин}}$ — ток металлического замыкания между двумя фазами на выводах генератора (периодическая слагающая тока короткого замыкания при $t=0$) для случаев «а» — одиночно работающего генератора, «б» — при самосинхронизации.

Выражение (4) применимо и для дифференциальной защиты схемы рис. 2, содержащей трансформаторы тока, соединенные в треугольник, поскольку можно считать, что при внутреннем повреждении весь ток короткого замыкания притекает со стороны трансформаторов тока защиты, соединенных в звезду.

В соответствии с Правилами устройства электроустановок (раздел III) минимальный коэффициент чувствительности по выражению (4) допускается порядка 2,0.

В случае «а» указанное требование чувствительности всегда удовлетворяется; расчетным может явиться случай «б» при малой мощности системы.

5) Для схем, выполненных с устройством контроля исправности вторичных цепей защиты (рис. 5), ток срабатывания реле контроля должен быть больше тока небаланса при максимальном рабочем режиме. Однако определяющей при расчетах является термическая устойчивость реле. Рекомендуется применять реле контроля типа ЭТ-521/2 с параллельным соединением обмоток и уставкой 1 а. Выдержка времени устройства контроля принимается больше выдержки времени защиты генератора от внешних коротких замыканий.

3. Односистемная поперечная дифференциальная токовая защита (рис. 3)

Первичный ток срабатывания защиты должен быть больше максимального тока небаланса:

$$I_{\text{с.з}} = k_n I_{\text{нб.расч}} \quad (5)$$

Ввиду трудности определения величины тока небаланса в выражении (5) на основании некоторых данных опыта эксплуатации ток срабатывания защиты, выполненной с реле, содержащим фильтр высших гармоник, может быть принят равным:

$$I_{\text{с.з}} = (0,2—0,3) I_{\text{ном.ген}} \quad (5')$$

При этом в зависимости от номинального тока генератора для возможности выбора тока срабатывания реле защиты типа ЭТ-521/Ф в диапазоне его уставок (1,75—8,8 а) коэффициент трансформации трансформатора тока принимается в пределах

$$n_{\text{т}} = \frac{600}{5} — \frac{1500}{5}$$

4. Токовая отсечка без замедления (рис. 10 и 11)

1) Первичный ток срабатывания защиты должен быть больше:

а) максимального тока при внешнем коротком замыкании

$$I_{\text{с.з}} \geq k_n I_{\text{к.з. макс}} \quad (6)$$

где k_n — коэффициент надежности, учитывающий ошибку реле, влияние апериодической слагающей и необходимый запас; ориентировочно принимается равным 1,8 при выполнении отсечки с реле ИТ-85 и 2,0 при выполнении ее с реле РТМ;

$I_{к.з. макс}$ — периодическая слагающая тока (при $t=0$) в месте установки защиты при внешнем металлическом трехфазном коротком замыкании;

б) возможного тока качаний, обусловленного нарушением устойчивости параллельной работы генераторов,

$$I_{с.з} \geq k_n I_{кач}, \quad (7)$$

где k_n — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,2—1,3;

$I_{кач}$ — возможный ток качаний.

Ток $I_{кач}$, входящий в выражение (7), приближенно вычисляется для режима качаний в предположении, что э. д. с. генераторов сдвинуты на 180° . При этом

$$I_{кач} = \frac{E_r + U_c}{x_r + x_c}, \quad (8)$$

где E_r — э. д. с. генератора;

x_r — сопротивление генератора;

U_c — эквивалентное напряжение системы, в расчетах принимается равным номинальному;

x_c — эквивалентное сопротивление системы.

В качестве э. д. с. и сопротивления генератора в выражение (8) вводятся сверхпереходные величины E'_d и x'_d — при возникновении качаний с углом 180° при несинхронном АПВ на линии, или переходные величины E'_d и x'_d — при возникновении качаний с углом 180° после отключения короткого замыкания защитой с выдержкой времени.

2) Чувствительность защиты по рис. 10 проверяется по металлическому замыканию между двумя фазами на выводах генератора в режиме работы рассматриваемого генератора параллельно с другими генераторами или системой:

$$k_n = \frac{I_p}{I_{с.р}}, \quad (9)$$

где I_p — периодическая слагающая (при $t=0$) тока короткого замыкания в реле защиты, посылаемого системой в минимальном режиме работы; в связи

с включением отсечки на разность токов рассматривается короткое замыкание, при котором реле обтекается током одной фазы;

$I_{с.р}$ — ток срабатывания реле, определяемый исходя из выражения (6) или (7).

Чувствительность защиты по рис. 11 может определяться по выражению (9) для вторичных величин или при подстановке в него первичных величин.

Минимальный коэффициент чувствительности k_n по выражению (9) допускается порядка 2,0 (см. Правила устройства электроустановок).

5. Защита от однофазных замыканий на землю, выполненная с трансформаторами тока нулевой последовательности шинного и кабельного типов с подмагничиванием (рис. 1—4, 6, 12—15)*

1) Основные технические данные защиты с трансформаторами тока нулевой последовательности шинного и кабельного типов приведены соответственно в табл. 1 и 2. Согласно Правилам устройства электроустановок защита генераторов от замыканий на землю должна иметь ток срабатывания не более 5 а. При этом в условиях, когда защита с током срабатывания, близким к предельной величине 5 а, находится в условиях срабатывания на грани чувствительности, ток в месте повреждения может превышать это значение с учетом влияния емкостного тока замыкания на землю защищаемого генератора и тока небаланса защиты. Как видно из табл. 1 и 2, первичные токи срабатывания защиты $I_{с.з. мин. п.}$ определяемые условием чувствительности, которые могут быть получены в защите рассматриваемого исполнения, не превышают 5 а.

2) Первичный ток срабатывания защиты выбирается из условия селективности действия при внешнем однофазном замыкании на землю, сопровождающемся внешним замыканием между двумя фазами:

$$I_{с.з.п} = \frac{1}{k_B} (k'_n I_c + k''_n I_{нб.б.л.п.}) \quad (10)$$

при наличии блокирующих реле — рис. 1—4, 6, 12 и 14;

$$I_{с.з.п} = \frac{1}{k_B} (k'_n I_c + k''_n I_{нб.к.з.п.}) \quad (11)$$

при отсутствии блокирующих реле — рис. 13 и 15,

* Принципы расчета разработаны с учетом материалов ИЭ АН УССР.

где I_c — установившийся емкостный ток замыкания на землю защищаемого генератора;

$I_{нб.р.л.п}$ — первичный установившийся ток небаланса, соответствующий току срабатывания блокирующих реле;

$I_{нб.к.з.п}$ — первичный установившийся ток небаланса в режиме внешнего двухфазного короткого замыкания;

$k'_н$ — коэффициент надежности для отстройки от перемежающегося внешнего замыкания на землю; принимается равным 2 при работе защиты с выдержкой времени порядка 1—2 сек;

$k''_н$ — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,5;

$k_в$ — коэффициент возврата.

Указанные расчетные условия приняты в предположении, что в режиме работы с замыканием на землю в какой-либо точке сети генераторного напряжения возникает замыкание между двумя фазами, не охватывающими фазу с замыканием на землю, вблизи шин станции.

Введение в выражения (10) и (11) коэффициента возврата обусловлено тем, что при его неучете защита может не вернуться после срабатывания при внешнем коротком замыкании, сопровождающемся появлением больших переходных токов небаланса.

Значения I_c для генераторов завода «Электросила» приведены в табл. 3. Для генераторов других типов при определении I_c могут быть использованы приближенные формулы для расчета емкости обмотки статора по отношению к земле, приведенные в примечании к табл. 3.

Таблица 1
Основные технические данные защиты от замыкания на землю, выполненной с трансформаторами тока нулевой последовательности шинного типа

Тип трансформатора тока	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, кА	Ток десятикратной термической устойчивости, кА	Наибольший ударный ток к. з., кА	Цель подмагничивания		Сопротивление намагничивания, Ом	Сопротивление к перемычке, Ом	Сопротивление намагничивания, Ом	Сопротивление к перемычке, Ом	Сопротивление намагничивания, Ом	Сопротивление к перемычке, Ом	Данные ТНПШ				Параметры защиты от замыкания на землю			Параметры реле блокировки	
					на номинальное напряжение, в	потребляемая мощность, Вт							от нулевой последовательности тока, мВ	от несимметричного тока, мВ	расположения тока, мВ	д. с. небаланса во вторичной цепи, мВ	от подмагничивания	от намагничивания	от несимметричного тока, мВ	расположения тока, мВ	д. с. небаланса во вторичной цепи, мВ
ТНПШ-1	6,3	1,75	24	165	110	20	0,0066	10	100	60	60	150	0,4	39	ЭТД-551/60	9*	0,03	2,4	ЭТ-523/0,2	0,75	
	10,5	3,0	48	165	110	25	0,0066	10	100	85	160	0,4	39	ЭТД-551/60	9*	0,03	2,4	ЭТ-523/0,2	1,25		
	15,75	4,5	72	165	110	30	0,0066	10	100	100	73,6	0,4	39	ЭТД-551/60	36**	0,015	3,5	ЭТ-523/0,2	1,25		

* При параллельном соединении обмоток реле.

** При последовательном соединении обмоток реле.

Примечания: 1. Таблица составлена по данным Киевского завода ТНПШ-3У на номинальный ток 7,2 кА.

2. В настоящее время ИЭ АН УССР разработал трансформатор тока ТНПШ-3У на номинальный ток 7,2 кА.

«Радиоизмеритель» (былш. «Союзэнергопроект») и ИЭ АН УССР.

Таблица 2

Основные технические данные защиты от замыкания на землю, выполненной с трансформаторами тока нулевой последовательности кабельного типа

Тип трансформатора тока	Число охватываемых кабелей	Данные ТНП										Параметры защиты от замыкания на землю			
		Цепь намагничивания		Сопротивление намагничивания, приведенное к первичной цепи, $Z_{\text{нам.п}}, \text{ Ом}$	Сопротивление намагничивания, приведенное к вторичной цепи, $Z_{\text{нам.в}}, \text{ Ом}$	Э. д. с. небаланса во вторичной цепи, мВ		Сечение эквивалентного магнитопровода $F_{\text{э}}, \text{ см}^2$	Средняя длина силовой линии $l, \text{ см}$	$F_{\text{э}}/l$	Число витков вторичной обмотки $W_{\text{в}}$	Тип реле	Сопротивление реле $Z_{\text{р}}, \text{ Ом}$	Ток срабатывания реле, соответствующий минимальной уставке, $I_{\text{ср.в}}, \text{ а}$	Переменный ток срабатывания защиты, определяемый условием чувствительности, $I_{\text{с.з.}}, \text{ мВ.п. а}$
		Номинальное напряжение, В	Потребляемая мощность, Вт			от намагничивания $E_{\text{нб. подм}}$	от несимметричного расположения токопроводов $E_{\text{нб. нес(н.р)}}$								
ТНП-2	1—2*	110	20	0,025	10	150	17	98	70	1,4	20	ЭТ-521/0,2	9	0,1	4,0
												ЭТД-551/60		0,03	1,3
ТНП-4	3—4*	110	45	0,025	10	150	17	143	102	1,4	20	ЭТ-521/0,2	9	0,1	4,0
												ЭТД-551/60		0,03	1,3
ТНП-7	5—7*	110	50	0,0137	10	150	14	122	152	0,8	27	ЭТ-521/0,2	9	0,1	5,0
												ЭТД-551/60		0,03	1,8
ТНП-12	8—12**	110	70	0,0137	10	150	14	144	180	0,8	27	ЭТ-521/0,2	9	0,1	5,0
												ЭТД-551/60		0,03	1,8
ТНП-16	13—16**	110	85	0,0137	10	150	14	158	198	0,8	27	ЭТ-521/0,2	9	0,1	5,0
												ЭТД-551/60		0,03	1,8

* Наружный диаметр кабеля до 50 мм. При $\varnothing > 50$ мм необходимо применять ТНП следующего большего габарита.

** Наружный диаметр кабеля до 60 мм.

Примечание. Таблица составлена по данным Киевского завода «Радионизмеритель» (бывш. «Союзэнергоремонт») и ИЭ АН УССР.

3) Первичные токи небаланса $I_{\text{нб. бл. п}}$ и $I_{\text{нб. к. з. п}}$, входящие в выражения (10) и (11), вычисляются исходя из приведенных ниже выражений (15) и (16) для вторичных токов небаланса.

Вторичный ток небаланса $I_{\text{нб. в}}$ в общем случае содержит две составляющие, которые в целях упрощения расчета складываются арифметически:

$$I_{\text{нб. в}} = I_{\text{нб. нес. в}} + I_{\text{нб. подм. в}}, \quad (12)$$

где $I_{\text{нб. нес. в}}$ — составляющая вторичного тока небаланса; обусловленная несимметричным расположением первичных токопроводов относительно вторичной обмотки трансформатора тока;

$I_{\text{нб. подм. в}}$ — составляющая вторичного тока небаланса, обусловленная неидентичностью двух сердечников трансформатора тока, используемого для выполнения защиты.

Первая составляющая тока небаланса по выражению (12) определяется следующим образом:

$$I_{\text{нб. нес. в}} = \frac{k E_{\text{нб. нес(н.р)}}}{Z_{\text{э. нам. в}} + Z_{\text{р}}}, \quad (13)$$

где $E_{\text{нб. нес(н.р)}}$ — э. д. с. небаланса, наводимая во вторичной обмотке трансформатора тока в номинальном режиме и обусловленная несимметричным расположением первичных токопроводов относительно вторичной обмотки;

$Z_{\text{э. нам. в}}$ — эквивалентное сопротивление намагничивания, приведенное ко вторичной цепи (см. Приложение II);

$Z_{\text{р}}$ — сопротивление реле.

$E_{\text{нб. нес(н.р)}}$, $Z_{\text{э. нам. в}}$ и $Z_{\text{р}}$ заимствуются из табл. 1 и 2. Следует отметить, что значения $E_{\text{нб. нес(н.р)}}$ и $E_{\text{бл(н.р)}}$ [см. (19)] даны в табл. 1.

Емкостные токи турбогенераторов и гидрогенераторов при замыкании одной фазы на землю

Тип генератора	Мощность S , <i>кв</i>	Номинальное напряжение $U_{\text{НОМ}}$, <i>кв</i>	Емкость обмотки статора по отношению к земле C_{Γ} , <i>мкф/фазу</i>	Емкостный ток при замыкании одной фазы на землю $I_C = 3\omega C_{\Gamma} \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3}}$, <i>а</i>	
Турбогенераторы	T2-3,5-2	4375	6,3	0,05	0,17
	T2-6-2	7500	6,3	0,05	0,17
	T2-12-2	15000	6,3	0,10	0,34
	T2-12-2	15000	10,5	0,08	0,46
	T2-25-2	31250	6,3	0,20	0,69
	T2-25-2	31250	10,5	0,16	0,92
	T2-50-2	58900	10,5	0,25	1,43
	T2-100-2	111100	15,75	0,39	3,34
	TB2-150-2	166500	18,0	0,32	3,14
Гидрогенераторы	CB $\frac{546}{90}$ -60	15600	6,3	0,26	0,89
	CB $\frac{750}{75}$ -40	27000	10,5	0,31	1,77
	CB $\frac{800}{105}$ -60	30000	10,5	0,28	1,60
	CB $\frac{655}{110}$ -32	44000	10,5	0,35	2,0
	CB $\frac{1100}{145}$ -88	50000	15,75	0,57	4,9
	CB $\frac{1050}{120}$ -68	50000	10,5	0,64	3,66
	CB $\frac{1250}{170}$ -36	68750	13,8	0,97	7,3
	CB $\frac{1160}{170}$ -72	90000	13,8	0,83	6,25

Примечания: 1. Емкость одной фазы обмотки статора по отношению к земле при температуре обмотки 25° С дана по материалам завода „Электросила“.

2. Для генераторов других типов величина емкости одной фазы обмотки статора по отношению к земле может быть определена по следующим приближенным формулам:

а) для турбогенераторов

$$C_{\Gamma} = \frac{kS}{1,2 \sqrt{U_{\text{НОМ}} (1 + 0,08U_{\text{НОМ}})}} \quad [\text{мкф/фазу}],$$

где S — мощность генератора, *Мва*;
 $U_{\text{НОМ}}$ — междуфазное напряжение, *кв*;
 $k = 0,0187$ при 15—20° С;

б) для гидрогенераторов

$$C_{\Gamma} = \frac{kS^2/n}{3(U_{\text{НОМ}} + 3600)n^{1/2}} \quad [\text{мкф/фазу}],$$

где S — мощность генератора, *кв*;
 $U_{\text{НОМ}}$ — междуфазное напряжение, *кв*;
 k — коэффициент, зависящий от класса изоляции (для класса Б при $t = 25^\circ \text{С}$ равен ~40);
 n — скорость вращения, *об/мин*.

3. При расчете I_C емкость C_{Γ} принимается в фарадах и напряжение $U_{\text{НОМ}}$ в вольтах.

4. По данным завода „Электросила“ емкость обмотки статора по отношению к земле практически мало меняется с изменением температуры.

при номинальном токе трансформатора тока ТНПШ; для уточнения указанные значения могут быть пересчитаны с учетом различия номинальных токов генератора и трансформатора тока.

Приведенные в табл. 1 и 2 значения э. д. с. небаланса $E_{\text{нб. нес (н.р)}}$ от несимметрии первичной цепи обеспечиваются при выполнении определенных требований по расположению ошиновки и концевых кабельных воронок в соответствии с информационными материалами завода-изготовителя трансформаторов тока нулевой последовательности.

Коэффициент k в выражении (13) принимается:

а) при расчете $I_{\text{нб. бл.}}$ входящего в выражение (10), — равным кратности тока срабатывания реле блокировки; в случае, когда блокировка защиты осуществляется с помощью блокирующего реле, приключенного к специальной обмотке ТНПШ, коэффициент k принимается в $\sqrt{3}$ раз большим, чем в случае использования для целей блокировки реле тока максимальной токовой защиты с комбинированным пуском напряжения (см. ниже п. 5);

б) при расчете $I_{\text{нб. к. в.}}$ входящего в выражение (11), — равным кратности тока короткого замыкания для момента времени, соответствующего выдержке времени защиты.

При определении составляющей тока небаланса по выражению (13) следует учитывать возможность снятия подмагничивания (вследствие обрыва цепи подмагничивания или в результате замыкания между теми фазами, от которых питается цепь подмагничивания). При снятии подмагничивания сопротивление ветви намагничивания $z_{\text{э. нам. в}}$ трансформатора тока резко снижается в связи с тем, что ампервитки повреждения значительно меньше ампервитков подмагничивания (см. Приложение II). В указанном режиме $z_{\text{э. нам. в}}$ становится значительно меньше z_p , а потому в этом случае можно с достаточной точностью принять в выражении (13) $z_{\text{э. нам. в}} = 0$.

Вторая составляющая тока небаланса по выражению (12) определяется следующим образом:

$$I_{\text{нб. подм. в}} = \frac{E_{\text{нб. подм}}}{z_p}, \quad (14)$$

где $E_{\text{нб. подм}}$ — э. д. с. небаланса, наводимая во вторичной обмотке трансформатора тока и обусловленная неидентичностью магнитопроводов (заимствуется из табл. 1 и 2).

Структура выражений (13) и (14) может быть приближенно пояснена с помощью схем замещения рис. 18, а и б трансформатора тока защиты при учете того, что во вторичной цепи протекают соответствующие токи небаланса, обусловленные несимметричным расположением первичных токопроводов относительно вторичной обмотки [выражение (13)] и неидентичностью магнитопроводов [выражение (14)].

В схеме рис. 18, а питание обеспечивается от источника тока $I_{\text{расч. в}}$, равного приведенному к вторичной цепи току внешнего короткого замыкания или току, при котором срабатывают блокирующие реле (подробнее см. И. М. Сирота, Защита от замыканий на землю в электрических системах, Киев, 1955).

Схема замещения трансформатора тока для токов небаланса рис. 18, а значительно отличается от его схемы замещения для токов замыкания на землю (см. рис. 31). В схеме рис. 18, а сопротивление ветви намагничивания $z_{\text{вз. в}}$ соответствует потоку взаимной индукции, проходящему значительную часть своего пути через воздух, а сопротивления $z_{\text{ст. в}}$ и $z_{\text{рас. возд. в}}$ — потокам, сцепляющимся только со вторичной обмоткой; при этом $z_{\text{ст. в}}$ соответствует потоку, замыкающемуся через сталь, а $z_{\text{рас. возд. в}}$ — через воздух.

В схеме рис. 18, б приложен источник напряжения $E_{\text{расч. в}}$ — напряжение небаланса, обусловленное неидентичностью двух сердечников

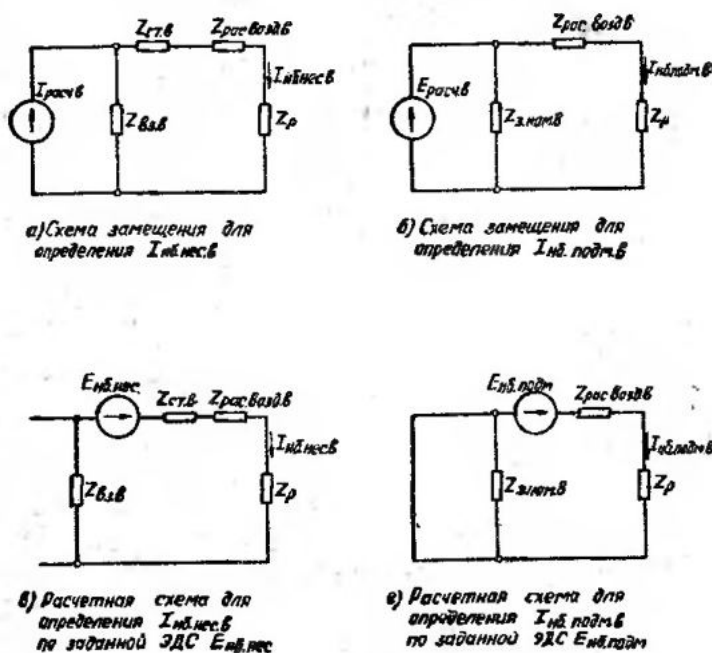


Рис. 18. Схемы замещения и расчетные схемы для определения токов небаланса.

трансформатора тока, используемого для выполнения защиты. Напряжение $E_{\text{расч.в}}$ может учитываться как источник напряжения бесконечной мощности в соответствии с тем, что приведенное ко вторичной стороне сопротивление трансформатора напряжения, от которого питается обмотка подмагничивания, пренебрежительно мало.

При известных э. д. с. $E_{\text{нб.нес}}$ и $E_{\text{нб.подм}}$, наводимых в разомкнутой вторичной обмотке трансформатора тока, токи небаланса $I_{\text{нб.нес.в}}$ и $I_{\text{нб.подм.в}}$ в схемах рис. 18, а и б в соответствии с теоремой об эквивалентном генераторе могут быть определены по расчетным схемам рис. 18, в и г, в которых:

сопротивление $z_{\text{ст.в}}$ можно принять примерно равным сопротивлению ветви намагничивания схемы замещения трансформатора тока для тока замыкания на землю (рис. 31)

$$z_{\text{ст.в}} = z_{\text{э.нам.в}}$$

сопротивление $z_{\text{ст.в}}$ значительно больше, чем $z_{\text{вз.в}}$, и последним можно пренебречь;

сопротивление $z_{\text{расч.возд.в}}$ мало, поскольку оно обусловлено потоком, замыкающимся через воздух, и им можно пренебречь.

Схемам рис. 18, в и г соответствуют выражения (13) и (14).

Таким образом, суммарный вторичный ток небаланса должен рассчитываться по следующим двум выражениям:

при наличии подмагничивания

$$I_{\text{нб.в}} = \frac{kE_{\text{нб.нес(н.р)}}}{z_{\text{э.нам.в}} + z_p} + \frac{E_{\text{нб.подм}}}{z_p}; \quad (15)$$

при снятом подмагничивании

$$I_{\text{нб.в}} = \frac{kE_{\text{нб.нес(н.р)}}}{z_p}. \quad (16)$$

В расчетах принимается больший из токов, вычисленных по выражениям (15) и (16).

4) Расчеты токов небаланса по выражениям (15) и (16) и соответствующих им токов срабатывания по выражениям (10) или (11) производятся в следующем порядке.

а) В первую очередь определяются токи небаланса, исходя из оптимального условия $z_p = z_{\text{э.нам.в}}$. Если при этом рассчитанный по условию селективности в соответствии с выражениями (10) или (11) первичный ток срабатывания защиты $I_{\text{с.з.п}}$ оказывается меньше указанного в табл. 1 и 2 $I_{\text{с.з.мин.п}}$ для $z_p = z_{\text{э.нам.в}}$, то ток срабатывания защиты и ток срабаты-

вания реле должны быть приняты по данным этих таблиц.

б) В случае, когда рассчитанный ток $I_{\text{с.з.п}}$ оказывается больше приведенного в таблицах $I_{\text{с.з.мин.п}}$ для $z_p = z_{\text{э.нам.в}}$, но меньше, чем для $z_p > z_{\text{э.нам.в}}$, то ток срабатывания защиты принимается равным рассчитанному, а ток срабатывания реле $I_{\text{с.р.в}}$ вычисляется по выражению (П-19) Приложения II, составленному для оптимального условия $z_p = z_{\text{э.нам.в}}$:

$$I_{\text{с.р.в}} = \frac{I_{\text{с.з.п}}}{2\omega_v}, \quad (17)$$

где ω_v — число витков вторичной обмотки трансформатора тока (заимствуется из табл. 1 и 2).

в) В случае, когда рассчитанный ток $I_{\text{с.з.п}}$ оказывается больше приведенного в таблицах $I_{\text{с.з.мин.п}}$ для $z_p > z_{\text{э.нам.в}}$, следует произвести вторичный расчет токов небаланса по выражениям (15) и (16) и тока срабатывания по выражениям (10) или (11) при сопротивлении реле, увеличенном путем последовательного соединения его обмоток в целях уменьшения тока небаланса, а следовательно, и тока срабатывания защиты. При этом ток срабатывания реле $I_{\text{с.р.в}}$ вычисляется по выражению (П-17) Приложения II, составленному для условия $z_p \neq z_{\text{э.нам.в}}$:

$$I_{\text{с.р.в}} = \frac{I_{\text{с.з.п}}}{\omega_v \left(1 + \frac{z_p}{z_{\text{э.нам.в}}}\right)}. \quad (17')$$

При переходе от вторичных токов небаланса, рассчитанных по выражениям (15) и (16), к первичным, входящим в выражения (10) и (11), следует учитывать, что соотношение между ними равно соотношению между током срабатывания реле и током срабатывания защиты — по выражениям (17) и (17')

$$\frac{I_{\text{нб.в}}}{I_{\text{нб.п}}} = \frac{I_{\text{с.р.в}}}{I_{\text{с.з.п}}}. \quad (18)$$

5) Ток срабатывания блокирующего реле, приключенного к специальной обмотке шинного трансформатора тока нулевой последовательности (рис. 4, 12 и 14), приближенно определяется по выражению

$$I_{\text{с.р.бл.в}} = \frac{\frac{k_{\text{н}}}{k_{\text{в}}} E_{\text{бл(н.р)}}}{z_p}, \quad (19)$$

где $E_{\text{бл(н.р.)}}$ — э. д. с., наводимая в блокировочной обмотке трансформатора тока при номинальной нагрузке генератора (пересчитывается по данным табл. 1 с учетом различия номинальных токов генератора и трансформатора тока — см. выше п. 3);

k_n — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,2;

k_v — коэффициент возврата реле;

z_p — сопротивление блокирующего реле.

Следует учитывать, что устройство блокировки в рассматриваемом исполнении имеет различную чувствительность при междуфазных коротких замыканиях аналогично случаю включения реле на разность токов ($2:\sqrt{3}:1$)¹. В связи с этим при определении тока небаланса по выражению (15) или (16) для обеспечения селективности действия защиты при внешнем замыкании между двумя фазами коэффициент k в этих выражениях должен быть принят равным $\sqrt{3} \frac{k_n}{k_v}$, где k_n и k_v заимствуются из выражения (19).

Пример расчета защиты от однофазных замыканий на землю в обмотке статора турбогенератора Т2-50-2 напряжением 10,5 кВ

1) Защита выполнена с использованием трансформатора тока шинного типа.

Для целей блокировки рассматриваемой защиты при внешних коротких замыканиях используются реле тока защиты генератора от внешних коротких замыканий с током срабатывания

$$I_{\text{с.з}} = 1,4 I_{\text{ном}}$$

2) Номинальный ток генератора

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} U_{\text{ном}} \cos \varphi} = \frac{50 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 0,85} = 3240 \text{ а.}$$

К установке принимается трансформатор тока ТНПШ-3 с номинальным током $I_{\text{ном}} = 4500 \text{ а}$. В соответствии с табл. 1 $I_{\text{с.з.мин.п}} = 2,4 \text{ а}$ при $z_p \approx z_{\text{э.нам.в}}$ и $I_{\text{с.з.мин.п}} = 3,5 \text{ а}$ при $z_p > z_{\text{э.нам.в}}$.

3) Для определения тока срабатывания защиты по выражению (10) необходимо опреде-

¹ См. И. М. Сирота, Защита от замыканий на землю в электрических системах, Киев, 1955.

лить ток небаланса $I_{\text{нб.бл.п}}$. Расчет $I_{\text{нб.бл.п}}$ производится по выражениям (15) и (16) при $z_p \approx z_{\text{э.нам}}$:

при наличии подмагничивания

$$I_{\text{нб.бл.в}} = \frac{k E_{\text{нб.нес(н.р.)}}}{z_{\text{э.нам.в}} + z_p} + \frac{E_{\text{нб.подм}}}{z_p} = \frac{1,4 \cdot 0,1 \frac{3240}{4500}}{10 + 9} + \frac{0,1}{9} = 0,0053 + 0,0112 = 0,0165 \text{ а;}$$

при снятом подмагничивании

$$I_{\text{нб.бл.в}} = \frac{k E_{\text{нб.нес(н.р.)}}}{z_p} = \frac{1,4 \cdot 0,1 \cdot \frac{3240}{4500}}{9} = 0,0112 \text{ а.}$$

В указанных выражениях $k = 1,4$ — кратность тока срабатывания блокирующих реле; $z_{\text{э.нам.в}} = 10 \text{ ом}$, $z_p = 9 \text{ ом}$, $E_{\text{нб.подм}} = 100 \text{ мв}$ и $E_{\text{нб.нес(н.р.)}} = 100 \text{ мв}$ заимствуются из табл. 1; при этом $E_{\text{нб.нес(н.р.)}}$ пересчитывается с учетом различия номинальных токов генератора (3240 а) и трансформатора тока (4500 а).

Большой из вычисленных вторичных токов небаланса $I_{\text{нб.бл.в}} = 0,0165 \text{ а}$ приводится к первичной стороне в соответствии с выражениями (17) и (18):

$$I_{\text{нб.бл.п}} = I_{\text{нб.бл.в}} 2w_v = 0,0165 \cdot 2 \cdot 39 = 1,29 \text{ а,}$$

где $w_v = 39$ — число витков вторичной обмотки трансформатора тока (заимствуется из табл. 1).

Подставляя вычисленный ток $I_{\text{нб.бл.п}}$ в выражение (10), получим ток срабатывания защиты

$$I_{\text{с.з.п}} = \frac{1}{k_v} (k'_n I_c + k''_n I_{\text{нб.бл.п}}) = \frac{1}{0,85} (2 \cdot 1,43 + 1,5 \cdot 1,29) = \frac{1}{0,85} (2,86 + 1,93) = 5,64 \text{ а,}$$

где $I_c = 1,43 \text{ а}$ — заимствуется из табл. 3.

4) Поскольку рассчитанный ток срабатывания защиты $I_{\text{с.з.п}} = 5,64 \text{ а}$ получился больше приведенного в табл. 1 $I_{\text{с.з.мин.п}} = 3,5 \text{ а}$ для $z_p > z_{\text{э.нам.в}}$, то в соответствии с указанным выше проводим вторичный расчет, принимая реле с последовательным соединением обмоток ($z_p = 36 \text{ ом}$), что обеспечивает снижение тока небаланса и, следовательно, тока срабатывания защиты.

Параметры защиты от двойных замыканий на землю

Тип трансформатора тока	Сопротивление реле защиты от однофазных замыканий на землю					
	9 ом			36 ом		
	Тип реле	Ток срабатывания реле $I_{с.р.в} \text{ а}$	Первичный ток срабатывания защиты, $I_{с.з.п} \text{ а}$	Тип реле	Ток срабатывания реле $I_{с.р.в} \text{ а}$	Первичный ток срабатывания защиты $I_{с.з.п} \text{ а}$
ТНПШ-1 ТНПШ-2 ТНПШ-3	ЭТ-521/6	2,3	100—125	ЭТ-521/2	1,2	100—125
ТНП-2 ТНП-4	ЭТ-521/6	4,0	100—125	—	—	—
ТНП-7 ТНП-12 ТНП-16	ЭТ-521/6	3,3	100—125	—	—	—

Примечание. Таблица составлена по данным ИЭ АН УССР.

При этом по выражениям (15) и (16) получим:

$$I_{нб.бл.в} = \frac{1,4 \cdot 0,1 \cdot \frac{3240}{4500}}{10 + 36} + \frac{0,1}{36} = 0,0022 + 0,0028 = 0,005 \text{ а};$$

$$I_{нб.бл.в} = \frac{1,4 \cdot 0,1 \cdot \frac{3240}{4500}}{36} = 0,0028 \text{ а}.$$

Большой из вычисленных вторичных токов небаланса $I_{нб.бл.в} = 0,005 \text{ а}$ приводится к первичной стороне в соответствии с выражениями (17') и (18):

$$I_{нб.бл.п} = I_{нб.бл.в} \omega_B \left(1 + \frac{z_p}{z_{э.нам.в}} \right) = 0,005 \cdot 39 \left(1 + \frac{36}{10} \right) = 0,9.$$

Подставляя вычисленный ток $I_{нб.бл.п}$ в выражение (10), получим ток срабатывания защиты

$$I_{с.з.п} = \frac{1}{0,85} (2 \cdot 1,43 + 1,5 \cdot 0,9) = \frac{1}{0,85} (2,86 + 1,35) = 4,95 \text{ а},$$

т. е. при $z_p > z_{э.нам.в}$ получается $I_{с.з.п} < 5 \text{ а}$. Ток срабатывания реле вычисляется по выражению (17'):

$$I_{с.р.в} = \frac{I_{с.з.п}}{\omega_B \left(1 + \frac{z_p}{z_{э.нам.в}} \right)} = \frac{4,95}{39 \left(1 + \frac{36}{10} \right)} = 0,0277 \text{ а}.$$

Таким образом, защита выполняется с использованием трансформатора тока ТНПШ-3 и реле ЭТД-551/60 с последовательным соединением обмоток; первичный ток срабатывания защиты $I_{с.з.п} = 4,95 \text{ а}$, ток срабатывания реле $I_{с.р.в} = 0,0277 \text{ а}$.

6. Защита нулевой последовательности от двойных замыканий на землю (рис. 1—4, 6, 12—15)

Ток срабатывания защиты должен быть больше максимально возможного тока, протекающего через защиту при внешних коротких замыканиях.

В соответствии с этим условием, учитывая, что защита выполнена без выдержки времени, первичный ток срабатывания с большим запасом может быть принят равным $I_{с.з.п} \approx 100 \text{ а}$. При этом обеспечиваются достаточно надежная отстройка от токов переходного процесса при внешних коротких замыканиях и высокая чувствительность защиты (поскольку токи двойного замыкания на землю велики).

Типы реле защиты и токи срабатывания реле (подлежащие уточнению при наладке защиты) для трансформаторов тока нулевой последовательности шинного и кабельного типов приведены в табл. 4, составленной по данным Института электротехники АН УССР¹.

При этом величины токов срабатывания реле рассматриваемой защиты даны с учетом

¹ Статья к. т. и. И. М. Сироты «Защита генераторов от двойных замыканий на землю», «Электрические станции», 1959, № 3.

возможного уменьшения сопротивления вторичной цепи трансформатора тока (определяемого в основном сопротивлением реле защиты от однофазных замыканий на землю) при большой кратности тока и увеличения в связи с этим токов в реле защиты от двойных замыканий на землю.

7. Защита от замыканий на землю, выполненная с трансформатором тока нулевой последовательности кабельного типа без подмагничивания (рис. 10)

При применении реле тока типа ЭТД-551/60 с параллельным соединением обмоток, подключенного к трансформатору тока нулевой последовательности типа ТЗЛ, ТЗ, ТФ, ТНП-1, обеспечивается минимальный первичный ток срабатывания защиты порядка 4—5 а.

8. Защита от внешних коротких замыканий. Максимальная токовая защита с комбинированным пуском напряжения (рис. 1, 2, 5, 6, 14—16)

1) Первичный ток срабатывания защиты определяется по выражению

$$I_{с.з} = \frac{k_n}{k_B} I_{ном,ген} \quad (20)$$

где $I_{ном,ген}$ — номинальный ток защищаемого генератора;

k_n — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,1—1,2;

k_B — коэффициент возврата.

2) Напряжение срабатывания устройства фильтр-реле напряжения обратной последовательности для обеспечения отстройки от напряжения небаланса нормального режима принимается по данным экспериментов и опыта эксплуатации равным $U_{с.з} = 0,06U_{ном}$, где $U_{с.з}$ и $U_{ном}$ — междуфазные напряжения (реле защиты заводского изготовления типа РНФ-1 имеет минимальную уставку 6 в междуфазных).

3) Напряжение срабатывания минимального реле напряжения защиты, включенного на междуфазное напряжение, определяется исходя из условия отстройки от режима самозапуска двигателей, а для турбогенераторов, кроме того, из условия отстройки от асинхронного режима, возникающего при потере возбуждения.

В связи с указанным для турбогенераторов приближенно принимается $U_{с.з} = (0,5—0,6)U_{ном}$ и для гидрогенераторов $U_{с.з} = (0,6—0,7)U_{ном}$.

При этом $U_{с.з}$ в целях запаса даны без облегчающих условий, заключающихся в том, что коэффициент возврата k_B в рассматриваемой защите может не вводиться в расчет (см. гл. 1, п. „А“, 6).

4) Чувствительность защиты проверяется по короткому замыканию в конце зоны резервирования (например, за повышающим трансформатором).

Для реле тока защиты по рис. 1, 5, 6, 14—16

$$k_{ч.т} = \frac{I_{к.з}}{I_{с.з}}, \quad (21)$$

где $I_{к.з}$ — первичный ток в фазах в месте установки реле защиты при металлическом коротком замыкании в конце зоны резервирования для режима и вида короткого замыкания, обуславливающих протекание в месте установки реле наименьших токов (для момента времени, соответствующего выдержке времени защиты); при протекании по отдельным фазам токов различных значений учитывается наибольшее из них.

Для защиты по рис. 2, выполненной с тремя реле, подключенными к трансформаторам тока, соединенным в треугольник, при расчете по вторичным величинам:

$$k_{ч.т} = \frac{I_p}{I_{с.р}}, \quad (21')$$

где $I_{с.р}$ — ток срабатывания реле;

I_p — ток в реле защиты при металлическом коротком замыкании в конце зоны резервирования для режима и вида короткого замыкания, обуславливающих протекание в реле наименьших токов (для момента времени, соответствующего выдержке времени защиты); при протекании по отдельным реле токов различных значений учитывается наибольшее из них.

Для устройства фильтр-реле напряжения обратной последовательности

$$k_{ч.н} = \frac{U_{2к.з}}{U_{с.з}}, \quad (22)$$

где $U_{2к.з}$ — напряжение обратной последовательности в месте установки защиты при металлическом коротком замыкании в конце зоны резервирования для режима и вида короткого замыкания, при которых указанное напряжение имеет наименьшее значение (для момента времени, соответствующего выдержке времени защиты).

Для минимального реле напряжения, включенного на междуфазное напряжение:

$$k_{ч.н} = \frac{U_{с.з}}{U_{к.з}}, \quad (23)$$

где $U_{к.з}$ — междуфазное напряжение в месте установки защиты при металлическом трехфазном коротком замыкании в конце зоны резервирования в режиме, при котором указанное напряжение имеет наибольшее значение (для момента времени, соответствующего выдержке времени защиты).

В соответствии с Правилами устройства электроустановок $k_{ч.т}$ и $k_{ч.н}$ должны быть не менее 1,2.

Более подробная оценка чувствительности максимальной токовой защиты с комбинированным пуском напряжения при несимметричных повреждениях приведена в Приложении III.

Максимальная токовая защита (рис. 10 и 11)

Первичный ток срабатывания защиты определяется по выражению (20), в котором k_n должен приниматься с учетом возможной перегрузки генератора при отключении параллельно работающих генерирующих источников, а также самозапуска двигателей; в тех случаях, когда такой выбор тока срабатывания не обеспечивает требуемой чувствительности, снижение последнего может быть достигнуто путем отстройки защиты от режима самозапуска временем ее действия.

Учитывая, что данная защита получается весьма грубой, допустимо ограничиться требованием минимальной чувствительности ($k_n = 1,2$) при повреждении на выводах генератора.

Минимальная защита напряжения (рис. 4, 12 и 13)

Напряжение срабатывания принимается равным $U_{с.з} = (0,5 - 0,6) U_{ном}$ (по аналогии с ми-

нимальным реле напряжения в защите с комбинированным пуском напряжения).

Токвая защита обратной последовательности (рис. 3)

1) Ток срабатывания реле защиты, действующего на сигнал, должен выбираться исходя из условия отстройки от тока небаланса фильтра токов обратной последовательности при максимально возможном токе перегрузки защищаемого генератора, сопровождающемся снижением частоты системы:

$$I_{с.з} = \frac{k_n}{k_b} I_{нб}, \quad (24)$$

где k_n — коэффициент надежности отстройки, принимаемый равным 1,2;

k_b — коэффициент возврата.

Ток небаланса может быть определен по выражению

$$I_{нб} = \left(\frac{\Delta I\%}{100} + k_{fl} \frac{\Delta f}{f} + \frac{\Delta \Phi\%}{100} \right) I_{пер.макс}, \quad (25)$$

где $\Delta I\%$ — слагающая тока небаланса (%), обусловленная погрешностью трансформаторов тока;

Δf — абсолютная величина отклонения частоты сети;

f — номинальная частота сети;

k_{fl} — коэффициент, зависящий от типа фильтра;

$\Delta \Phi\%$ — слагающая тока небаланса, обусловленная неточностью настройки фильтра, в процентах;

$I_{пер.макс}$ — максимально возможный ток перегрузки защищаемого элемента.

Принимая $I_{пер.макс} \approx 1,5 I_{ном.ген}$, $\Delta I\% = 1\%$, $\Delta f = 3$ гц, $f = 50$ гц, $\Delta \Phi = 1\%$, $k_b = 0,85$ и учитывая, что для фильтра с трехобмоточным трансформатором устройства РТ-2 $k_{fl} = 0,5$, из выражений (24) и (25) можно получить:

$$I_{с.з} = 0,1 I_{ном.ген}. \quad (26)$$

При этом обеспечивается действие защиты при токах обратной последовательности, несколько превышающих длительно допустимый для турбогенераторов в соответствии с ПТЭ.

2) Ток срабатывания реле защиты, действующего на отключение, должен выбираться исходя из следующих условий.

а) Из условия предотвращения повреждения ротора генератора из-за перегрева при

протекании токов обратной последовательности.

При выборе $I_{с.з}$ по этому условию следует исходить из зависимости допустимой длительности протекания токов обратной последовательности в генераторе $t_{доп}$ от величины этих токов, приведенной в табл. 5 для турбогенераторов, не имеющих форсированного охлаждения, и гидрогенераторов (таблица составлена по данным завода „Электросила“). Величины токов в указанной таблице даются в кратностях по отношению к номинальным токам генератора.

Таблица 5

Зависимость допустимой длительности протекания токов обратной последовательности в генераторе $t_{доп}$ от величины кратности этого тока в долях от номинального I_2^*

Для турбогенератора, не имеющего форсированного охлаждения		Для гидрогенератора	
I_2^*	$t_{доп}$ сек	I_2^*	$t_{доп}$ сек
3,8	2	4	2
3,1	3	3	4
2,7	4	2	10
2,4	5	1,5	18
1,7	10	1	40
1,2	20		

Из табл. 5 можно установить, что для турбогенератора при $I_2^* = 1,2 - 3,8$ и для гидрогенератора при $I_2^* = 1 - 2$ зависимость $t_{доп} = f(I_2^*)$ характеризуется уравнением адиабатического процесса:

$$I_2^{*2} t_{доп} = A, \quad (27)$$

где I_2^* — кратность эквивалентного тока обратной последовательности, равного

$$\frac{1}{t_{доп}} \int_0^{t_{доп}} I_{2r} dt, \text{ в долях от номинального тока генератора;}$$

A — постоянная для данного типа генератора величина; для турбогенераторов, не имеющих форсированного охлаждения, $A = 30$, а для гидрогенераторов $A = 40$.

В соответствии с данными табл. 5 и по уравнению (27) построены кривые зависимости $t_{доп} = f(I_2^*)$ (рис 19) в предположении, что уравнение (27) справедливо также и для

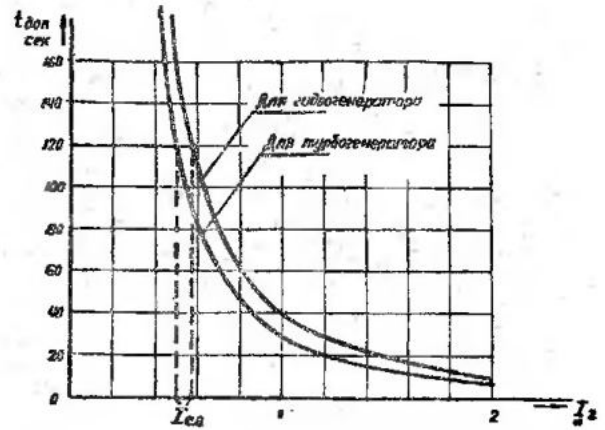


Рис. 19. Зависимость допустимой длительности протекания токов обратной последовательности в генераторе $t_{доп}$ от величины кратности этого тока в долях от номинального I_2^* .

токов I_{2r} , меньших соответствующих нижних предельных значений в таблице (для турбогенераторов $I_2^* < 1,2$, для гидрогенераторов $I_2^* < 1$).

При выборе тока срабатывания следует учитывать ориентировочное время, в течение которого режим работы генератора с протеканием токов обратной последовательности может быть устранен обслуживающим персоналом. Указанное время может быть принято равным $t_{устр} = 120$ сек.

При токах обратной последовательности, для которых $t_{доп} < t_{устр}$, генератор должен быть отключен. Из выражения (27) следует, что $t_{доп} < t_{устр}$ имеет место при $I_2^* > \sqrt{\frac{A}{t_{устр}}}$. Поэтому ток срабатывания защиты по рассматриваемому условию должен удовлетворять соотношению

$$I_{с.з} \leq \sqrt{\frac{A}{t_{устр}}}. \quad (28)$$

Подставив в выражение (28) соответствующие значения A и $t_{устр} = 120$ сек, получим:

для турбогенераторов, не имеющих форсированного охлаждения ($A = 30$), $I_{с.з} \leq 0,5$;

для гидрогенераторов ($A = 40$) ориентировочно $I_{с.з} \leq 0,6$.

Указанные токи срабатывания соответствуют по кривым $t_{доп} = f(I_2^*)$ $t_{устр} = 120$ сек (рис. 19).

б) Из условия согласования по чувствительности с защитами, установленными на элементах, смежных с защищаемым.

Выбор тока срабатывания по указанному условию требуется производить таким образом, чтобы при повреждениях, сопровождающихся отказом по чувствительности защиты одного из смежных элементов, защита обратной последовательности не приходила в действие.

Согласование по чувствительности рассматриваемой защиты с резервной защитой шин генераторного напряжения допускается не производить, поскольку на стороне генераторного напряжения несимметричные короткие замыкания наиболее часто переходят в симметричные. В связи с этим практически согласование должно производиться с токовой защитой обратной последовательности, установленной на повышающих трансформаторах станции, по выражению

$$I_{с.з} \geq k_n I_{2расч} \quad (29)$$

где $I_{с.з}$ — ток срабатывания токовой защиты обратной последовательности, установленной на генераторе;

$I_{2расч}$ — ток обратной последовательности в цепи защищаемого генератора в расчетных условиях, когда токовая защита обратной последовательности трансформаторов находится на грани чувствительности;

k_n — коэффициент надежности согласования, принимаемый равным 1,1.

В целях облегчения условия согласования по выражению (29) допустимо учитывать только основные режимы работы.

в) Из условия отстройки от тока небаланса фильтра токов обратной последовательности при максимально возможном токе перегрузки защищаемого элемента, сопровождающемся снижением частоты системы, по выражениям (24), (25) и (26).

Условие отстройки от тока, возникающего в выходных цепях фильтра при разрыве соединительных проводов трансформаторов тока, питающих устройство фильтр-реле, не учитывается в предположении, что такие повреждения маловероятны при надежном выполнении монтажа вторичных цепей.

Условие «в» не является расчетным. Из двух оставшихся условий выбора $I_{с.з}$ («а»

и «б») условие «а» является определяющим. При этом для одновременного удовлетворения условиям «а» и «б» может возникнуть необходимость снижения тока срабатывания токовой защиты обратной последовательности трансформаторов в соответствии с выражением (29).

3) Чувствительность токовой защиты обратной последовательности к внешним повреждениям проверяется по короткому замыканию в конце зоны резервирования (например, за повышающим трансформатором):

$$k_{\chi} = \frac{I_{2к.з}}{I_{с.з}}, \quad (30)$$

где $I_{2к.з}$ — ток обратной последовательности в месте установки защиты при металлическом коротком замыкании в конце зоны резервирования для режима и вида короткого замыкания, при которых указанный ток обратной последовательности имеет наименьшее значение.

Расчет целесообразно производить в первичных величинах тока; k_{χ} для рассматриваемой защиты должен быть в соответствии с Правилами устройства электроустановок не менее 1,2.

Более подробная оценка токовой защиты обратной последовательности при несимметричных повреждениях приведена в Приложении III.

Выдержка времени защиты от внешних коротких замыканий должна быть больше выдержек времени защит элементов, присоединенных к шинам генераторного напряжения.

9. Защита от симметричной перегрузки (рис. 1—6, 10—16)

Ток срабатывания защиты от перегрузки определяется по выражению (20) при $k_n = 1,05$.

10. Защита от повышения напряжения гидрогенераторов (рис. 5, 6, 11 и 16)

Напряжение срабатывания защиты принимается равным $U_{с.з} = (1,5 - 1,7) U_{ном}$.

Выдержка времени защиты — порядка 0,5 сек.

**ПРИБЛИЖЕННАЯ ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ МЕРТВОЙ ЗОНЫ ЗАЩИТЫ ОТ ПОЯВЛЕНИЯ
ВТОРОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В ЦЕПИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРА (РИС. 7)**

Ниже выводятся расчетные выражения для определения мертвой зоны рассматриваемой защиты при работе генератора с устройствами автоматического регулирования возбуждения (АРВ) и форсировки возбуждения, а также без этих устройств.

При этом пренебрегается влиянием переходного сопротивления в месте повреждения и принимается, что генератор имеет возбудитель с самовозбуждением.

1. Уравнения для определения процента незащищенных витков при втором замыкании на землю

Ток i_{p1} , протекающий через реле при втором замыкании на землю в сторону плюса, может быть определен с помощью схем, изображенных на рис. 20.

Согласно выражению для неуравновешенной мостовой схемы ток в реле равен:

$$i_{p1} = \frac{U_B (r_2 r_3 - r_1 r_4)}{R_p (r_1 + r_2)(r_3 + r_4) + r_1 r_2 (r_3 + r_4) + r_3 r_4 (r_1 + r_2)} \quad (\text{П-1})$$

или, воспользовавшись соотношениями, указанными на рис. 20, б,

$$i_{p1} = \frac{U_B n_1 (1-m)}{R_p (1-n_1) + (m-n_1)(1-m)R_1 + m(1-m)(1-n_1)R_2} \quad (\text{П-2})$$

Вследствие малой величины сопротивления обмотки возбуждения R_1 членом $(m-n_1)(1-m)R_1$ можно пренебречь, и тогда

$$i_{p1} = \frac{U_B n_1 (1-m)}{(1-n_1)[R_p + m(1-m)R_2]} \quad (\text{П-3})$$

Ток i_{p2} , протекающий через реле при втором замыкании на землю в сторону минуса от первого места замыкания на землю, определяется тем же методом, что и в предыдущем случае. На основании рис. 21

$$i_{p2} = \frac{U_B n_2 m}{(1-n_2)[R_p + m(1-m)R_2]} \quad (\text{П-4})$$

Как видно из выражений (П-3) и (П-4), ток в реле защиты зависит от того, произошло ли второе замыкание на землю в сторону плюса или минуса от первого места замыкания на землю.

Приравнивая токи i_{p1} и i_{p2} току срабатывания реле, определяем соответствующие зоны незащищенных витков (мертвые зоны защиты) $n_{1м}$ и $n_{2м}$. Указанные зоны ($n_{1м}$ и $n_{2м}$) расположены вблизи первого места замыкания на землю.

Полное число незащищенных витков в долях от числа витков обмотки возбуждения определяется как сумма мертвых зон:

$$a = n_{1м} + n_{2м} \quad (\text{П-5})$$

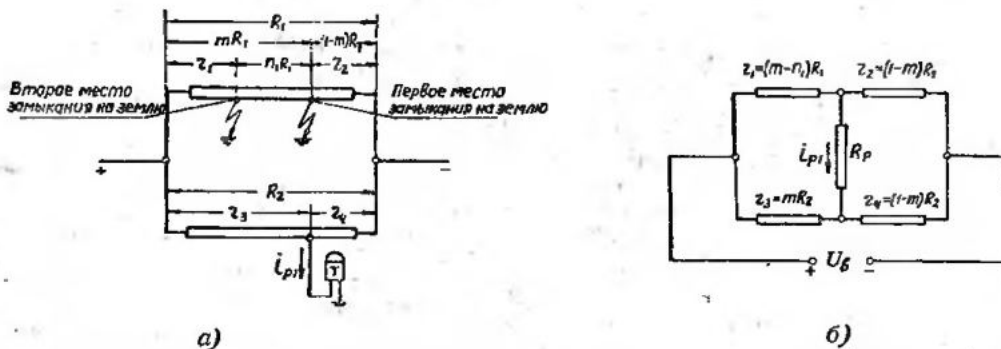


Рис. 20. Расчетные схемы для случая замыкания на землю во второй точке обмотки возбуждения в сторону плюса. а — схема цепи; б — схема замещения.

R_1 — активное сопротивление постоянному току обмотки возбуждения генератора; R_p — активное сопротивление постоянному току цепи реле; U_B — напряжение на кольцах ротора после возникновения второго замыкания на землю; m — отношение величины сопротивления обмотки возбуждения генератора от зажима плюса до первого места замыкания на землю к полному сопротивлению обмотки возбуждения; n — отношение сопротивления замкнутых витков обмотки к полному сопротивлению обмотки возбуждения.

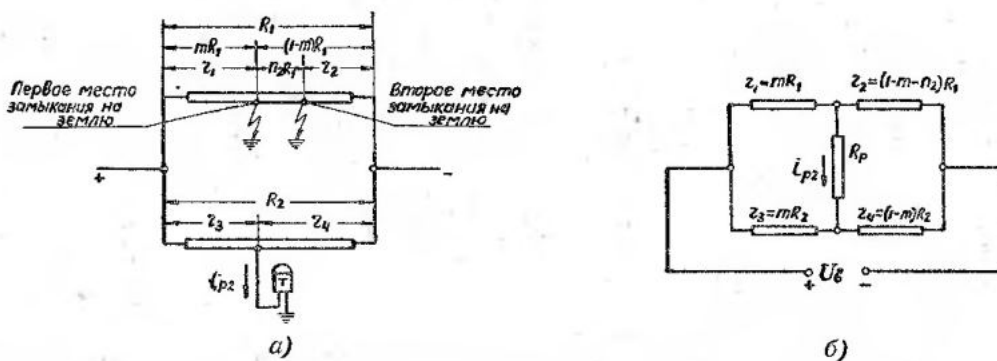


Рис. 21. Расчетные схемы для случая замыкания на землю во второй точке обмотки возбуждения в сторону минуса.

а — схема цепи; б — схема замещения. Обозначения см. рис. 20.

При учете выражений (П-3) и (П-4) имеем:

$$n_{1м} = \frac{A}{1+A}; \quad (\text{П-6a})$$

$$n_{2м} = \frac{B}{1+B}; \quad (\text{П-6б})$$

где

$$A = \frac{i_{с.р}}{U_B} \left[\frac{R_p}{1-m} + mR_2 \right]; \quad (\text{П-7a})$$

$$B = \frac{i_{с.р}}{U_B} \left[\frac{R_p}{m} + (1-m)R_2 \right]; \quad (\text{П-7б})$$

и $i_{с.р}$ — ток срабатывания реле.

Определение числа незащищенных витков должно быть произведено с учетом зависимости напряжения U_B от числа замкнутых витков n . При этом следует различать два случая: когда устройства АРВ и форсировки возбуждения включены и отключены.

2. Определение величины мертвой зоны защиты α в функции расположения первого места замыкания на землю при включенных устройствах АРВ и форсировки возбуждения

Появление второго замыкания на землю вызывает в первый момент понижение напряжения на выводах генератора и в связи с этим действие устройств АРВ и форсировки возбуждения. При этом необходимо различать три случая.

а) При наличии небольшого числа замкнутых витков, не превышающего некоторой величины, за счет действия АРВ напряжение на обмотке возбуждения будет увеличиваться примерно до номинального его значения, имевшего место до возникновения второго замыкания на землю.

б) При наличии большого числа замкнутых витков может вступить в действие устройство форсировки возбуждения, если напряжение на выводах генератора достигает величины уставки этого устройства. Для оценки действия защиты в этом случае может быть использована внешняя характеристика возбудителя при форсировке возбуждения, приведенная на рис. 22 (для пояснения принципа действия защиты здесь и ниже используются кривые рис. 22—27, построенные в примерах 1 и 2).

При этом если число замкнутых витков не превышает некоторой величины $n_{крит}$ (соответствующей точке I на рис. 22 для случая работы генератора в режиме номинальной нагрузки и точке II — в режиме

холостого хода), напряжение на выводах генератора будет колебаться между величинами срабатывания и возврата устройства форсировки. Указанное объясняется тем, что при срабатывании устройства форсировки напряжение на выводах генератора может стать выше напряжения возврата этого устройства, а после возврата последнего — снова снизиться; при этом устройство форсировки повторно срабатывает. Грубо приближенио в этом диапазоне напряжение возбудителя принимается равным напряжению, соответствующему заданному режиму работы генератора. На рис. 22 U_B равно $U_B(ном)$ при работе генератора в режиме номинальной нагрузки и $U_B(х.х)$ в режиме холостого хода; соответствующие величины $n_{крит}$ определяются точками I и II.

в) При наличии числа замкнутых витков, превышающего $n_{крит}$, действие устройства форсировки возбуждения приводит к рабочей точке возбудителя на участке его внешней характеристики ниже точки I или II на рис. 22. При этом для обеспечения заданного режима работы генератора поддерживается не нормальное напряжение, а меньшее значение.

В соответствии с изложенным при включенных устройствах АРВ и форсировки возбуждения можно для оценки поведения релейной защиты при появлении второго замыкания на землю принимать следующую грубо приближенную зависимость напряжения на зажимах ротора U_B от числа замкнутых витков (рис. 23).

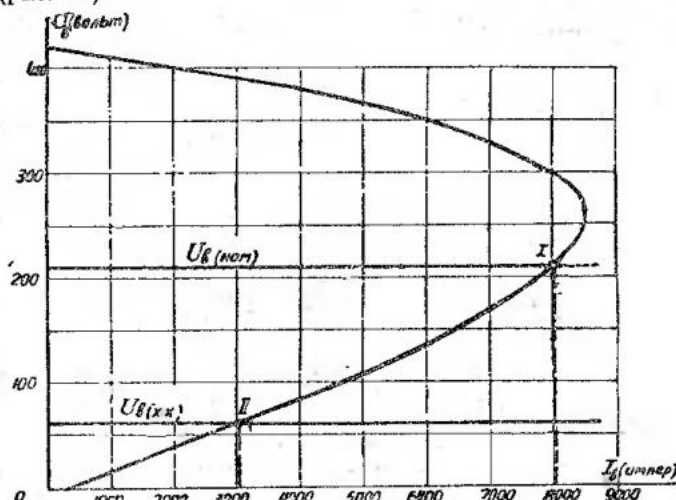


Рис. 22. Внешняя характеристика возбудителя в режиме форсировки возбуждения.

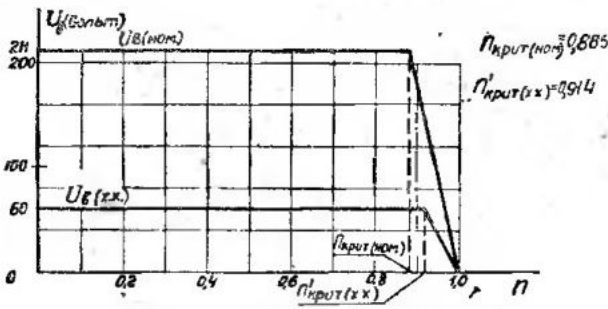


Рис. 23. Зависимость напряжения возбуждения от числа замкнутых витков n обмотки возбуждения генератора (при наличии АРВ).

Напряжение на зажимах ротора принимается постоянным и равным его нормальному значению для заданного режима генератора независимо от числа замкнутых витков вплоть до значения $n = n_{\text{крит}}$. При числе замкнутых витков, превышающем $n_{\text{крит}}$, принимается, что напряжение на зажимах ротора снижается по прямой до нуля по мере увеличения n от $n_{\text{крит}}$ до 1,0.

Критическое число замкнутых витков $n_{\text{крит}}$ в долях от числа витков обмотки возбуждения определяется по выражению

$$U_B = R_1(1 - n)I_B \quad (\text{II-8})$$

или, решая выражение (II-8) относительно n ,

$$n = \left(1 - \frac{U_B/I_B}{R_1}\right), \quad (\text{II-9})$$

где U_B , I_B — координаты точки пересечения внешней характеристики с прямой $U_B = \text{const}$ (рис. 22, см., например, точки I и II);

R_1 — активное сопротивление постоянному току обмотки возбуждения генератора.

В выражении (II-9) отношение $\frac{U_B}{I_B}$ соответствует сопротивлению незамкнутой части обмотки возбуждения.

При наличии кривой напряжения U_B в функции n (рис. 23) мертвая зона защиты определяется с помощью выражений (II-5) — (II-7) при заданном положении m первого места замыкания на землю. При этом в выражениях (II-6) и (II-7) учитывается $U_B = \text{const}$ для определения составляющих мертвой зоны n_{1M} и n_{2M} при значении этих составляющих вплоть до $n_{\text{крит}}$. В случае, когда n_{1M} (или n_{2M}) больше $n_{\text{крит}}$ ($1,0 > n > n_{\text{крит}}$), необходимо использовать метод последовательных приближений, задаваясь n_{1M} (или n_{2M}) первоначально для определения U_B по кривой рис. 23 и вычисляя после этого n_{1M} (или n_{2M}) по выражениям (II-6) и (II-7); при этом необходимо добиться равенства обонх значений n_{1M} (или n_{2M}).

Указанный расчет производится для различных значений m — положения первого места замыкания на землю; результаты используются для построения искомой кривой зависимости мертвой зоны α по выражению (II-5) в функции m (на рис. 26 кривые построены для работы генератора в режиме номинальной нагрузки и холостого хода).

3. Определение величины мертвой зоны защиты α в функции расположения первого места замыкания на землю при отключенных устройствах АРВ и форсировки возбуждения

Для определения зависимости напряжения на зажимах ротора U_B от числа замкнутых витков n используется в данном случае внешняя характеристика возбuditеля для данного режима работы генератора (номинальная нагрузка и холостой ход — см. рис. 24).

С помощью внешней характеристики, задаваясь I_B , находят U_B и после этого вычисляют величину замкнутых витков n , соответствующую этим значениям U_B и I_B , по выражению (II-9). Таким образом строится зависимость U_B от n (рис. 25).

Для определения мертвой зоны используются выражения (II-5) — (II-7). Каждая из составляющих мертвой зоны n_{1M} и n_{2M} определяется на основании кривых рис. 25 с помощью метода последовательных приближений для заданного места первого замыкания на землю (m). При этом ход этого расчета аналогичен изложенному выше для части характеристики $U_B = f(n)$ при $n > n_{\text{крит}}$ (рис. 23).

Указанный расчет составляющих мертвой зоны n_{1M} и n_{2M} производится для различных значений m — положения первого места замыкания на землю; резуль-

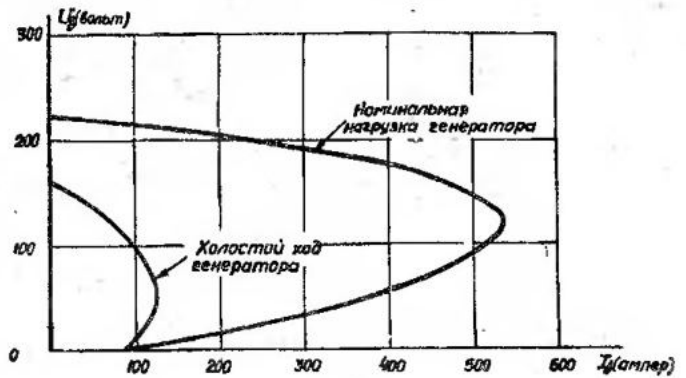


Рис. 24. Внешние характеристики возбuditеля.

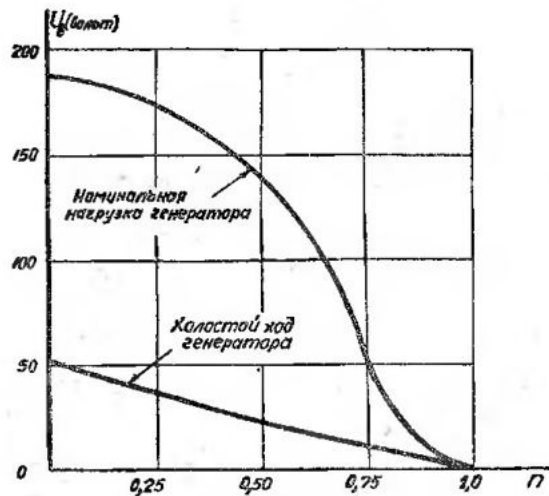


Рис. 25. Зависимость напряжения возбuditеля от числа замкнутых витков n обмотки возбуждения генератора.

таты используются для построения искомого кривой зависимости мертвой зоны α по выражению (П-5) в функции m (на рис. 27 кривые построены для работы генератора в режиме номинальной нагрузки и холостого хода).

4. Вывод приближенных выражений для определения мертвой зоны α защиты при холостом ходе генератора и при отключенных устройствах АРВ и форсировки возбуждения

Для рассматриваемого случая можно без большой погрешности представить зависимость напряжения на зажимах ротора U_B от числа замкнутых витков следующим уравнением прямой линии:

$$U_B = U_{B(x,x)} (1 - m). \quad (\text{П-10a})$$

В данном частном случае нет необходимости определения мертвой зоны с помощью метода последовательных приближений, так как при подстановке выражения (П-10a) в (П-7), а последних в выражения (П-6) и (П-5)

$$\alpha = \frac{i_{c.p}}{U_{B(x,x)}} \left[\frac{R_p}{m(1-m)} + R_2 \right]. \quad (\text{П-10б})$$

Предельные значения m , при которых защита не будет действовать вне зависимости от места второго замыкания на землю, определяются решением выражения (П-10б) относительно m при $\alpha = 1,0$:

$$m_1 = 0,5 - \sqrt{0,25 - \frac{i_{c.p} R_p}{U_{B(x,x)} - R_2 i_{c.p}}}; \quad (\text{П-11a})$$

$$m_2 = 0,5 + \sqrt{0,25 - \frac{i_{c.p} R_p}{U_{B(x,x)} - R_2 i_{c.p}}} = 1 - m_1. \quad (\text{П-11б})$$

где m_1 и m_2 — корни квадратного уравнения (П-10б)

Пример 1. Расчет защиты по рис. 7 для генератора мощностью 50 Мвт, имеющего устройства АРВ и форсировки возбуждения, с возбудителем с самовозбуждением, при использовании комплекта защиты типа КЗР-1.

1) Данные возбудителя:

а) номинальное напряжение $U_B = 230$ в;

б) мощность $P_B = 145$ квт;

в) напряжение на зажимах возбудителя при холостом ходе и номинальном напряжении генератора $U_{B(x,x)} = 60$ в;

г) напряжение на зажимах возбудителя при номинальной нагрузке генератора $U_{B(ном)} = 211$ в.

2) Активное сопротивление постоянному току обмотки возбуждения генератора $R_1 = 0,228$ ом.

3) Активное сопротивление потенциометра $R_2 = 100$ ом.

4) Ток срабатывания реле тока комплекта КЗР-1 $i_{c.p} = 0,07$ а.

5) Активное сопротивление постоянному току обмотки максимального реле тока $r_p = 25$ ом.

6) Активное сопротивление постоянному току дроссели типа ВУ-25Т (см. рис. 7) $r_d = 8,5$ ом.

7) Суммарное активное сопротивление постоянному току цепи реле $R_p = r_p + r_d = 33,5$ ом.

Внешняя характеристика возбудителя в режиме форсировки возбуждения построена приближенно и

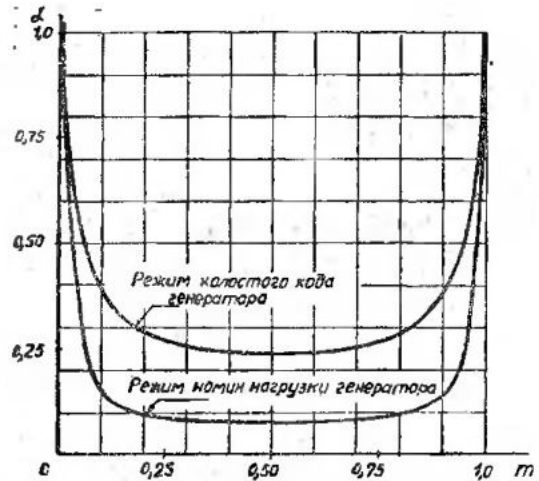


Рис. 26. Мертвая зона для случая замыкания на землю в двух точках обмотки возбуждения при наличии АРВ (пример 1).

показана на рис. 22. Точки пересечения указанной характеристики с линиями $U_{B(x,x)} = 60 = \text{const}$ (для режима холостого хода) и $U_{B(ном)} = 211 = \text{const}$ (для режима номинальной нагрузки) имеют следующие координаты:

а) $U_{B(x,x)} = 60$ в; $I_B = 3\,055$ а;

б) $U_{B(ном)} = 211$ в; $I_B = 8\,030$ а.

На основании выражения (П-9) определяется $n_{\text{крит}}$.

На основании выражений (П-5) — (П-7), используя характеристику рис. 23, строится зависимость α от места первого замыкания на землю m (рис. 26) в соответствии с указаниями п. 2.

Из рис. 26 вытекает:

а) Мертвая зона реле защиты больше при работе генератора в режиме холостого хода, чем в режиме номинальной нагрузки.

б) При первом месте короткого замыкания вблизи середины обмотки возбуждения ($m \approx 0,5$) мертвая зона реле в случае возникновения второго замыкания наименьшая. Указанная мертвая зона возрастает по мере приближения места первого замыкания к выводам обмотки, причем если первое место короткого замыкания находится в некоторой зоне вблизи выводов обмотки (в данном случае в пределах доли процента), то защита вообще не будет реагировать на появление второго короткого замыкания.

Пример 2. Расчет защиты по рис. 7 для генератора мощностью 25 Мвт при отключенных устройствах АРВ и форсировки возбуждения, с возбудителем с самовозбуждением, при использовании комплекта защиты типа КЗР-1.

1) Данные возбудителя:

а) номинальное напряжение $U_B = 230$ в;

б) мощность $P_B = 120$ квт;

в) напряжение на зажимах возбудителя при холостом ходе и номинальном напряжении генератора $U_{B(x,x)} = 52$ в;

г) напряжение на зажимах возбудителя при номинальной нагрузке генератора $U_{B(ном)} = 188$ в.

2) Активное сопротивление потенциометра $R_2 = 100$ ом.

Данные для комплекта защиты типа КЗР-1 приведены в пп. 4—7 предыдущего примера. Внешние харак-

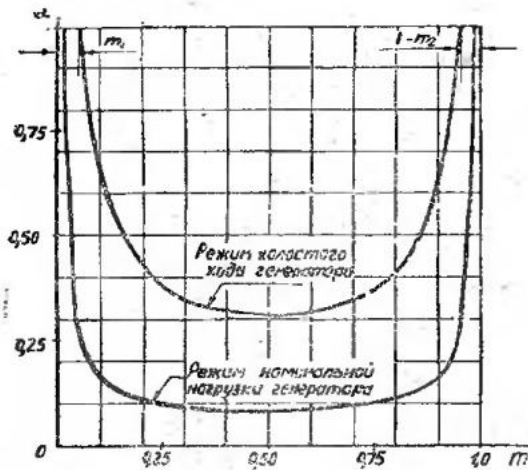


Рис. 27. Мертвая зона для случая замыкания на землю в двух точках обмотки возбуждения при отсутствии АРВ (пример 2).

теристики возбудителя при работе генератора в режиме холостого хода и номинальной нагрузки по данным завода приведены на рис. 24.

Расчет производится для случая работы генератора с номинальной нагрузкой и для случая холостого хода генератора.

Номинальная нагрузка генератора. Согласно выражению (П-9) строится зависимость напряжения на зажимах возбудителя U_B от числа замкнутых витков n (рис. 25).

Из выражений (П-6) и (П-7) с помощью характеристики рис. 25 определяются числа незащищенных витков в обе стороны от первого места замыкания на землю (n_{1m} и n_{2m}) при различных положениях первого места замыкания на землю, характеризуемых коэффициентом m , и после этого полная мертвая зона α по выражению (П-5). Кривая зависимости α от m построена на рис. 27.

Холостой ход генератора. Согласно выражению (П-8) строится зависимость напряжения на

зажимах возбудителя U_B от числа замкнутых витков n (рис. 25). Эта зависимость в данном случае получается практически прямолинейной, и поэтому представляется возможным пользоваться выражениями (П-10) и (П-11).

С помощью выражений (П-11а) и (П-11б) определяются значения m_1 и m_2 , характеризующие положение первого места замыкания на землю, при котором защита не действует независимо от места второго замыкания на землю (см. рис. 27):

$$m_1 = 0,5 - \sqrt{0,25 - \frac{0,07 \cdot 33,5}{52 - 100 \cdot 0,07}} = +0,055;$$

$$m_2 = 1 - m_1 = +0,945.$$

Согласно выражению (П-10б) определяются величины мертвых зон для различных положений первого места замыкания на землю:

$$\alpha = \frac{0,07}{52} \left[\frac{33,5}{m(1-m)} + 100 \right] = \frac{0,0451}{m(1-m)} + 0,135.$$

Кривая зависимости α от m построена на рис. 27. Из сравнения кривых рис. 26 и 27 вытекает следующее.

а) При расположении первого места повреждения в широком диапазоне относительно середины обмотки мертвая зона защиты α по рис. 27 для случая работы генератора в режиме номинальной нагрузки лишь немного больше мертвой зоны по рис. 26. Это объясняется тем, что при малом числе замкнутых витков, характеризующих мертвую зону при этих значениях m (рис. 27), спад напряжения по соответствующей кривой рис. 25 мал, и потому рис. 27 имеет лишь некоторое превышение мертвой зоны α по сравнению с рис. 26. Указанное в некоторой степени также относится к случаю работы генератора в режиме холостого хода.

б) При расположении первого места короткого замыкания вблизи выводов мертвая зона α по рис. 27 существенно превышает мертвую зону α по рис. 26. Это обусловлено значительным спадом напряжения по рис. 25 при больших значениях n , в то время как напряжение по рис. 23 сохраняется постоянным вплоть до числа замкнутых витков n , лишь несколько меньшего 10.

ПРИЛОЖЕНИЕ II

ОСОБЕННОСТИ ЗАЩИТЫ ОТ ЗАМКНИИ НА ЗЕМЛЮ, ВЫПОЛНЕННОЙ С ТРАНСФОРМАТОРАМИ ТОКА НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ КАБЕЛЬНОГО ИЛИ ШИННОГО ТИПА, РАЗРАБОТАННЫМИ АН УССР

Трансформаторы тока рассматриваемой защиты выполняются с подмагничиванием переменным током. Подмагничивание магнитопроводов трансформаторов тока до индукций, соответствующих высоким значениям магнитной проницаемости, обуславливает увеличение сопротивления ветви намагничивания. В связи с этим может быть увеличена мощность, отдаваемая трансформатором тока при данной величине тока повреждения. В рассматриваемой защите для этой цели н. с. подмагничивания (ампер-витки подмагничивания) принимаются намного большими н. с. повреждения (ампер-витков повреждения): $a\omega_{\text{подм}} \gg a\omega_{\text{нам}}$.

Для исключения влияния на вторичную обмотку трансформатора тока индукции подмагничивания магнитопровод выполняется посредством двух одинаковых сердечников, обмотки подмагничивания которых соеди-

няются между собой последовательно-встречно. Соединение отдельных секций вторичных обмоток показано на рис. 28а и б.

Для расчетов чувствительности и селективности защиты целесообразно пользоваться эквивалентной схемой замещения трансформаторов тока по рис. 28, а и б; при этом целесообразно взамен двух параллельных секций вторичной обмотки с числом витков ω_B в сек-

ции, обтекаемой половиной тока в реле $\frac{I_{p.v.}}{2}$, рассматривать одну обмотку с числом витков ω_B , обтекаемую током $I_{p.v.}$

В общем случае результирующая н. с. (ампер-витки) каждого сердечника трансформатора тока прибли-

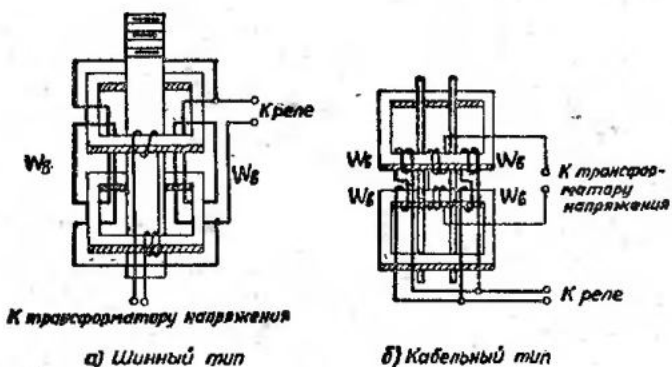
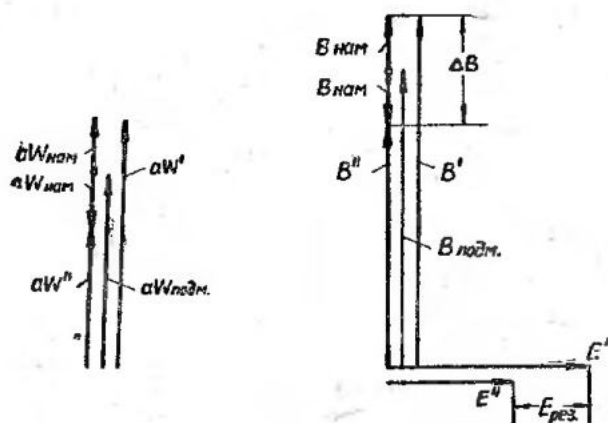
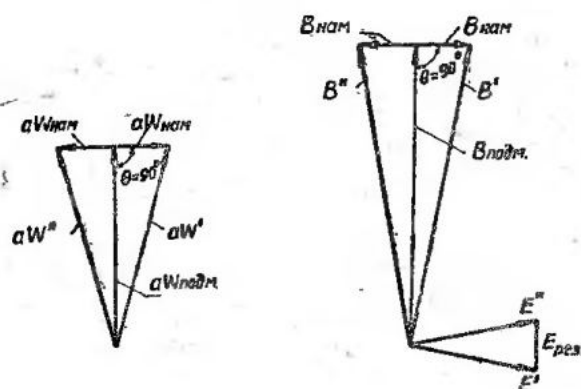


Рис. 28. Расположение обмоток трансформаторов тока.

женно определяется геометрической суммой н. с. (ампер-витков) повреждения ($aW_{\text{нам}}$) и подмагничивания ($aW_{\text{подм}}$) в одном из них (aW') и разностью — в другом (aW''). Намагничивающие силы повреждения и подмагничивания сдвинуты на угол θ , который меняется в зависимости от расположения векторов токов повреждения



а) $\theta = 0^\circ$.



б) $\theta = 90^\circ$

Рис. 29. Векторные диаграммы ампер-витков, индукций и э. д. с. при $\theta = 0^\circ$ и $\theta = 90^\circ$.

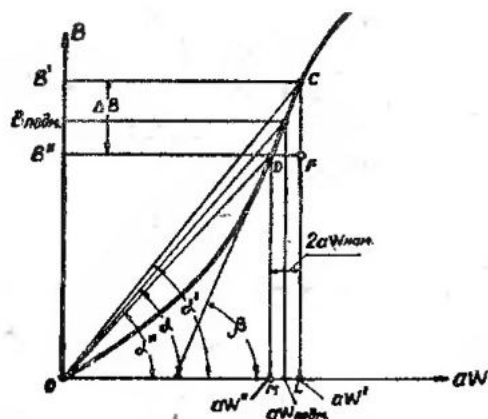


Рис. 30. Характеристика намагничивания стали.

и подмагничивания. На рис. 29, а и б даны диаграммы н. с. (ампер-витков), индукций и э. д. с. для двух частных случаев — $\theta = 0^\circ$ и $\theta = 90^\circ$.

Результирующая э. д. с. $E_{\text{рез}}$, индуцируемая во вторичной обмотке эквивалентного трансформатора тока, заменяющего трансформаторы тока по рис. 28, а и б, может быть выражена, учитывая рис. 29, а и б, следующим образом:

$$E_{\text{рез}} = k(aW_{\text{подм}} + aW_{\text{нам}})z'_{\text{нам}} - k(aW_{\text{подм}} - aW_{\text{нам}})z''_{\text{нам}}, \quad (\text{II-12})$$

где $z'_{\text{нам}}$ и $z''_{\text{нам}}$ — сопротивления намагничивания отдельных сердечников трансформатора тока;

$E_{\text{рез}}$ целесообразно выразить через параметры эквивалентного трансформатора тока, н. с. (ампер-витки) которого равна $aW_{\text{нам}}$:

$$E_{\text{рез}} = k a W_{\text{нам}} z_{\text{э.нам}}, \quad (\text{II-12}')$$

где $z_{\text{э.нам}}$ — сопротивление намагничивания эквивалентного трансформатора тока.

Сопротивление $z_{\text{э.нам}}$ существенно зависит от угла θ .

При $\theta = 0^\circ$ магнитное состояние одного сердечника характеризуется магнитной проницаемостью, пропорциональной $\text{tg } \alpha'$, и второго — $\text{tg } \alpha''$ (рис. 30). Для рассматриваемого случая результирующая индукция B' в одном сердечнике обусловлена суммой абсолютных величин н. с. (ампер-витков) повреждения и подмагничивания (aW'), а индукция B'' в другом сердечнике — их разностью (aW'') (рис. 29, а и 30). При этом результирующая э. д. с. во вторичной цепи $E_{\text{рез}}$ определяется арифметической разностью индукций B' и B'' , мало различающихся между собой (т. е. ΔB на рис. 30); в этом случае работа устройства в целом может быть охарактеризована дифференциальной магнитной проницаемостью $\mu_{\text{диф}}$, определяемой касательной к кривой зависимости индукции от эффективного тока на отрезке ее, соответствующем ΔB (угол β на рис. 30).

Для рассматриваемого случая э. д. с. $E_{\text{рез}}$ (пропорциональная ΔB , рис. 30) определяется правой частью выражения (II-12) и характеризуется разностью катетов CL и DM треугольников OCL и ODM и может быть также определена из треугольника DCF :

$$E_{\text{рез}} = k \cdot 2 a W_{\text{нам}} z_{\text{нам.диф}} = 2 I_{\text{нам}} z_{\text{нам.диф}}, \quad (\text{II-13})$$

где $z_{\text{нам.диф}}$ — сопротивление намагничивания, соответствующее дифференциальной магнитной проницаемости $\mu_{\text{диф}}$.

В соответствии с выражениями (П-12') и (П-13) для рассматриваемого случая получим:

$$z_{\text{э.нам}} = 2z_{\text{нам.диф}} \quad (\text{П-14})$$

При $\theta = 90^\circ$ результирующие н. с. (ампер-витки) отдельных сердечников (aw' и aw'') различны по фазе, но одинаковы по величине и практически равны н. с. (ампер-виткам) подмагничивания $aw_{\text{подм}}$ (рис. 29, б). Результирующая э. д. с. во вторичной цепи в данном случае обусловлена различием по фазе индукций B' и B'' двух сердечников, в связи с чем процесс характеризуется эффективной магнитной проницаемостью $\mu_{\text{эф}}$ (угол α , рис. 30). Таким образом в этом случае в выражении (П-12) следует принять $z'_{\text{нам}} = z''_{\text{нам}} = z_{\text{нам.эф}}$; при этом получим:

$$E_{\text{рез}} = 2kaw_{\text{нам}}z_{\text{нам.эф}} = 2I_{\text{нам}}z_{\text{нам.эф}} \quad (\text{П-15})$$

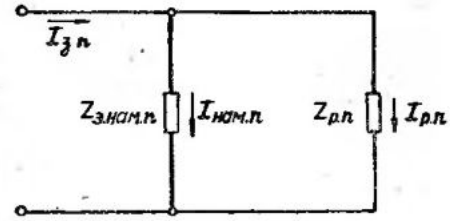
В соответствии с выражениями (П-12) и (П-15) имеем:

$$z_{\text{э.нам}} = 2z_{\text{нам.эф}} \quad (\text{П-16})$$

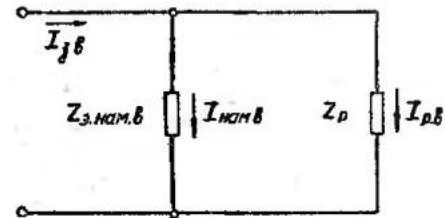
Из рассмотрения рис. 30 следует, что в качестве расчетного с точки зрения чувствительности защиты должно быть принято условие $\theta = 90^\circ$ (когда процесс характеризуется эффективной магнитной проницаемостью $\mu_{\text{эф}}$), поскольку чувствительность защиты при этом получается меньше, чем при $\theta = 0^\circ$, когда учитывается дифференциальная проницаемость. Объясняется это тем, что для расчетной точки на кривой холостого хода $\mu_{\text{эф}}$ всегда меньше $\mu_{\text{диф}}$ (пропорциональных соответственно тангенсам углов α и β , рис. 30), а следовательно, при $\theta = 90^\circ$ сопротивление намагничивания всегда меньше, чем при $\theta = 0^\circ$. В связи с указанным токи $I_{\text{с.з.мин.п}}$ в табл. 1 и 2, определяемые условием чувствительности, даны при $\theta = 90^\circ$. При $\theta = 0^\circ$ рассматриваемые токи будут меньше (в целях упрощения в расчетах, приведенных в гл. 3, указанное различие не учитывается).

Из приведенного выше следует, что схема замещения эквивалентного трансформатора рассматриваемой защиты характеризуется сопротивлением намагничивания $z_{\text{э.нам}}$ по выражению (П-14) или (П-16) соответственно для $\theta = 0^\circ$ и $\theta = 90^\circ$. С учетом указанного на рис. 31 даны эквивалентные схемы замещения трансформатора тока нулевой последовательности с подмагничиванием, приведенные к числу витков первичной обмотки (рис. 31, а) и к числу витков w_B вторичной обмотки (рис. 31, б). На основании рис. 31 может быть составлено следующее выражение:

$$I_{\text{с.р.в}} = \frac{z_{\text{с.з.п}}}{w_B \left(1 + \frac{z_p}{z_{\text{э.нам.в}}} \right)} \quad (\text{П-17})$$



а)



б)

$$Z_{\text{р.п}} = \frac{z_p}{W_B^2} ; \quad Z_{\text{э.нам.в}} = \frac{z_{\text{э.нам.в}}}{W_B^2}$$

$$I_{\text{ж.п}} = I_{\text{ж.в}} \cdot W_B ; \quad I_{\text{ном.п}} = I_{\text{ном.в}} \cdot W_B ; \quad I_{\text{р.п}} = I_{\text{р.в}} \cdot W_B$$

Рис. 31. Схемы замещения трансформатора тока нулевой последовательности с подмагничиванием.

Поскольку для рассматриваемого случая сопротивление $z_{\text{нам}}$ определяется в основном н. с. (ампер-витками) подмагничивания (так как ампер-витки намагничивания малы), оно может быть принято постоянной величины вне зависимости от $aw_{\text{нам}}$. При этом условие оптимальной работы трансформатора тока (отдача им наибольшей мощности) определяется соотношением

$$z_{\text{э. нам.в}} = z_p \quad (\text{П-18})$$

С учетом (П-18) выражение (П-17) принимает вид:

$$I_{\text{с.р.в}} = \frac{I_{\text{с.з.п}}}{2w_B} \quad (\text{П-19})$$

При переходе от вторичных токов небаланса к первичным для расчета по ним первичных токов срабатывания защиты следует учитывать, что их пересчет должен производиться аналогично токам срабатывания по выражениям (П-17) и (П-19):

$$\frac{I_{\text{нб.в}}}{I_{\text{нб.п}}} = \frac{I_{\text{с.р.в}}}{I_{\text{с.з.п}}} \quad (\text{П-20})$$

ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МАКСИМАЛЬНОЙ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ С КОМБИНИРОВАННЫМ ПУСКОМ НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

1) Ниже дана оценка чувствительности защиты генераторов от внешних повреждений при замыканиях между двумя фазами.

Для этой цели рассматривается чувствительность:

а) токового органа, выполненного с тремя реле тока, и пускового органа напряжения обратной последовательности, питаемого от трансформатора напряжения, установленного в цепи генератора, максимальной токовой защиты с комбинированным пуском напряжения — по рис. 1, 2, 5, 6, 14—16.

б) грубого токового органа токовой защиты обратной последовательности — по рис. 3.

Рассматриваемая защита является резервной, в связи с этим оценка ее чувствительности производится по короткому замыканию в конце зоны резервирования — за повышающим трансформатором, за трансформатором собственных нужд, за реактором линии генераторного напряжения. В соответствии с Правилами устройства электроустановок коэффициент чувствительности как элемента тока $k_{ч.т}$, так и элемента напряжения $k_{ч.н}$ защиты должен быть не менее 1,2.

Для оценки чувствительности рассматриваемой защиты были проведены ориентировочные расчеты токов в фазах I_p , а также токов и напряжений обратной последовательности I_{2p} и U_{2p} при различной удаленности короткого замыкания x_k для генераторов станции, распределяющей всю мощность на генераторном напряжении, при отсутствии и наличии связи с системой (рис. 32). Расчеты производились в относительных единицах, для установившегося режима, по методу расчетных кривых с учетом регуляторов возбуждения. За базисную мощность была принята номинальная мощность генератора S_r .

Схемы замещения прямой и обратной последовательностей принятых расчетных схем рис. 32 даны на рис. 33.

Ток прямой последовательности в генераторе I_{1r} определялся геометрическим суммированием тока, текущего от генератора к месту короткого замыкания, вычисленного по расчетным кривым, и тока I_{1H} в нагрузочном сопротивлении, подключенном к сборным шинам. Поскольку последнее учитывается в расчетных кривых постоянным сопротивлением при $\cos \varphi = 0,8$, то ток нагрузки определялся по выражению $I_{1H} =$

$$= \frac{U_{1r}}{0,8 + j0,6} \quad (\text{рис. 33, а}).$$

Ток обратной последовательности I_{2r} в генераторе определялся распределением тока I_{2k} в схеме рис. 33, б.

Результаты расчетов приведены на рис. 34—40 в виде кривых

$$I_p = f(x_k); U_{2p} = f(x_k) \text{ и } I_{2p} = f(x_k).$$

2) Условие надежной работы токовых органов может быть записано в следующем виде:

для защиты с комбинированным пуском напряжения

$$I_p \geq k_{ч.т} I_{с.р} \quad (\text{П-21})$$

где $I_{с.р}$ — ток срабатывания реле тока;

$k_{ч.т}$ — коэффициент чувствительности реле тока;

для токовой защиты обратной последовательности

$$I_{2p} \geq k_{ч.т} I_{с.р}, \quad (\text{П-21}')$$

где I_{2p} — ток обратной последовательности в месте установки защиты, подводимый к устройству фильтр-реле;

$I_{с.р}$ — ток срабатывания устройства фильтр-реле тока обратной последовательности;

$k_{ч.т}$ — коэффициент чувствительности устройства фильтр-реле.

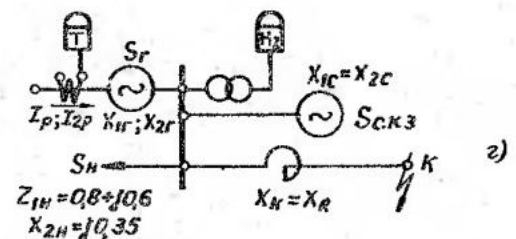
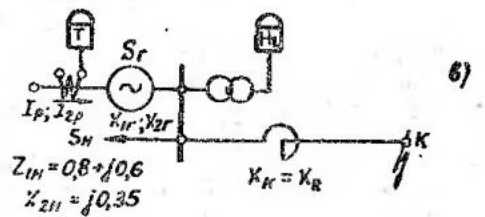
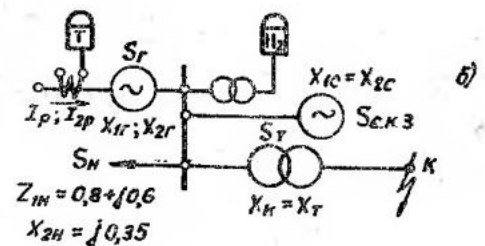
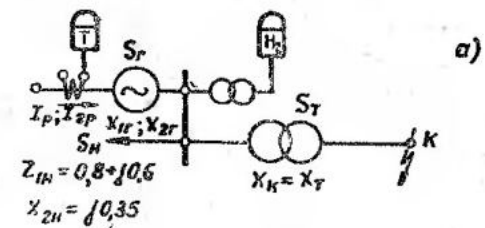


Рис. 32. Расчетные схемы первичных соединений для оценки чувствительности максимальной токовой защиты с комбинированным пуском напряжения и токовой защиты обратной последовательности.

а — короткое замыкание за трансформатором при отсутствии системы; б — короткое замыкание за трансформатором при наличии системы; в — короткое замыкание за реактором при отсутствии системы; г — короткое замыкание за реактором при наличии системы.

Примечание. Сопротивления генераторов приняты равными: для турбогенераторов $x_{1r} = j0,125$ и $x_{2r} = j0,15$; для гидрогенераторов $x_{1r} = j0,2$ и $x_{2r} = j0,25$.

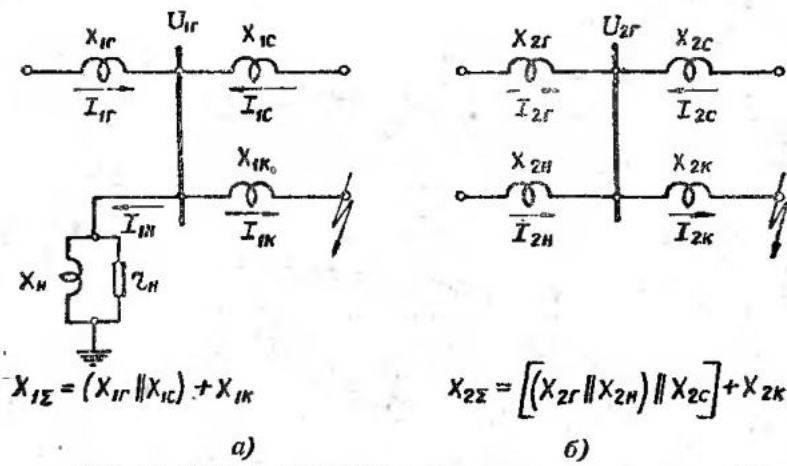


Рис. 33. Схемы замещения расчетных схем по рис. 32. а — схема замещения прямой последовательности; б — схема замещения обратной последовательности.

- Примечания: 1. Мощность нагрузки равна мощности генератора.
 2. Все сопротивления приведены к мощности генератора.
 3. При определении результирующего сопротивления схемы прямой последовательности $x_{1\Sigma}$ сопротивление нагрузки не учитывается, так как расчет токов ведется по расчетным кривым, построенным с учетом нагрузки.
 4. При отсутствии системы $x_{1C} = x_{2C} = \infty$.

Принимая в относительных единицах $I_{c.p} = 1,4$, $I_{2c.p} = 0,5$ для турбогенераторов и $I_{2c.p} = 0,6$ для гидрогенераторов, при $k_{ч.н} = 1,2$ соответственно получим:

$$\left. \begin{aligned} I_p &\geq 1,68; \\ I_{2p} &\geq 0,6; \\ I_{2p} &\geq 0,72. \end{aligned} \right\} \quad (\text{П-22})$$

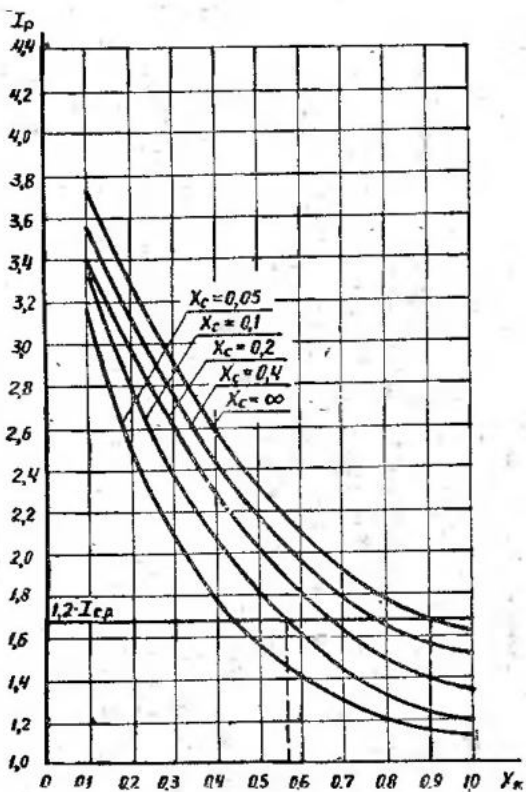


Рис. 34. Максимальный фазный ток в турбогенераторе при замыкании между двумя фазами за трансформатором с соединением Y/Δ (рис. 32, а и б).

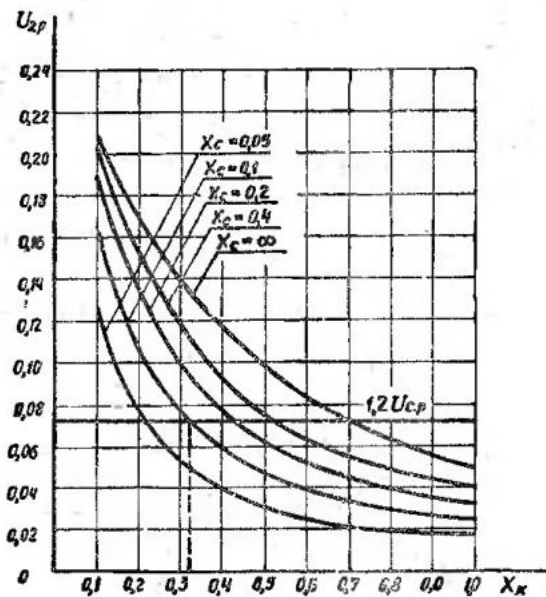


Рис. 35. Напряжение обратной последовательности на выводах турбогенератора при замыканиях между двумя фазами в схемах рис. 32.

Условие надежной работы устройства фильтр-реле напряжения обратной последовательности может быть записано в следующем виде:

$$U_{2p} \geq k_{ч.н} U_{c.p} \quad (\text{П-23})$$

где U_{2p} — фазное напряжение обратной последовательности в месте установки защиты, подводимое к устройству фильтр-реле;
 $U_{c.p}$ — фазное напряжение срабатывания устройства фильтр-реле напряжения обратной последовательности;
 $k_{ч.н}$ — коэффициент чувствительности устройства фильтр-реле.

Принимая в относительных единицах $U_{c.p} = 0,06$, при $k_{ч.н} = 1,2$ получим:

$$U_{2p} \geq 0,072. \quad (\text{П-24})$$

3) В табл. 6 в соответствии с кривыми рис. 34—40 в п. 1 даны предельные значения сопротивления x_k , при коротком замыкании за которым обеспечивается требуемая чувствительность токового органа и органа напряжения максимальной токовой защиты с комбинированным пуском напряжения, а также токовой защиты обратной последовательности; при этом рассматривается случай отсутствия системы ($x_c = \infty$) и наличия системы (например, $x_c = 0,1$).

Из п. 1 табл. 6 для расчетных схем рис. 32 при принятых параметрах срабатывания следует:

а) чувствительность максимальной токовой защиты с комбинированным пуском напряжения для турбогенераторов ограничивается органом напряжения, а для гидрогенераторов — токовым органом;

б) чувствительность токовой защиты обратной последовательности при принятых расчетных условиях ниже максимальной токовой с комбинированным пуском напряжения.

4) По данным п. 1 могут быть определены соотношения между номинальными мощностями генератора S_g и повышающего трансформатора S_{tr} , при повреждении за которым обеспечивается требуемая чувствительность рассматриваемых защит.

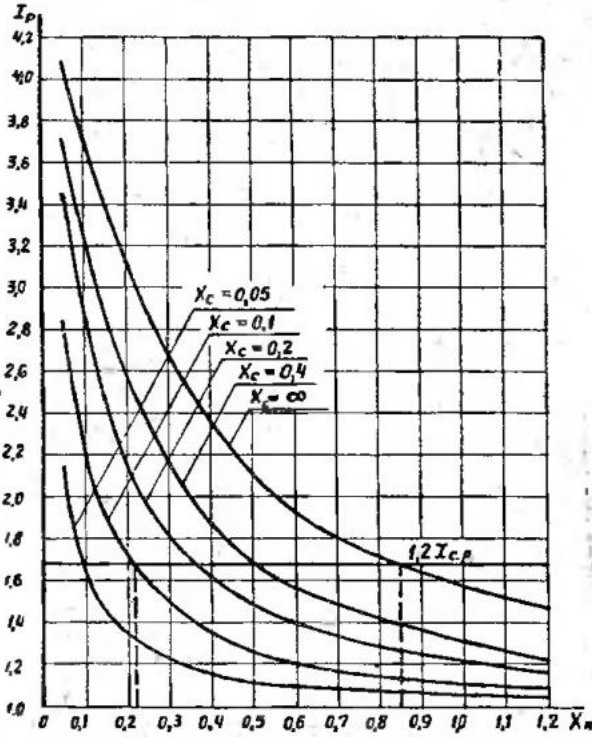


Рис. 36. Максимальный фазный ток в гидрогенераторе при замыкании между двумя фазами за трансформатором с соединением Y/Δ (рис. 32, а и б).

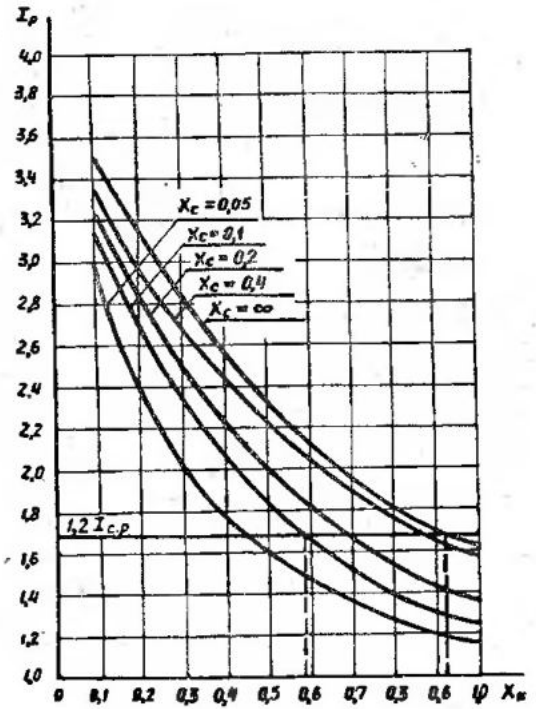


Рис. 38. Максимальный фазный ток в турбогенераторе при замыкании между двумя фазами за реактором (рис. 32, в и г).

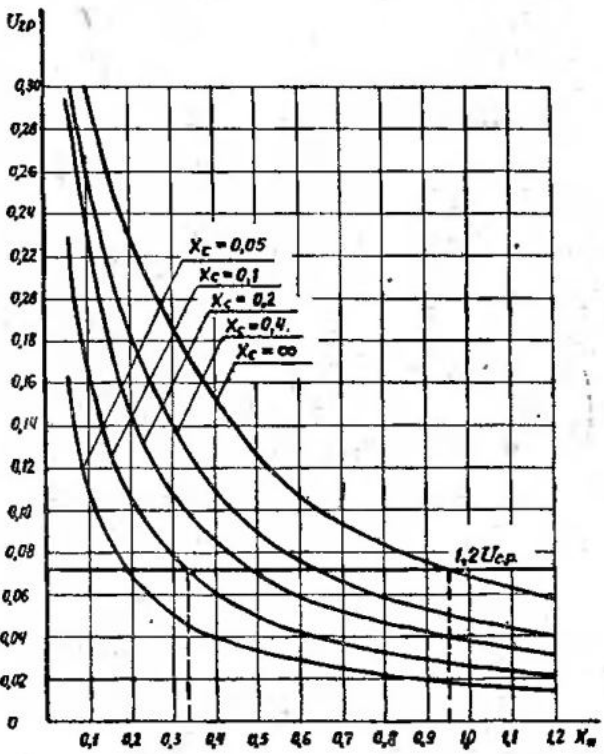


Рис. 37. Напряжение обратной последовательности на выводах гидрогенератора при замыканиях между двумя фазами в схемах рис. 32.

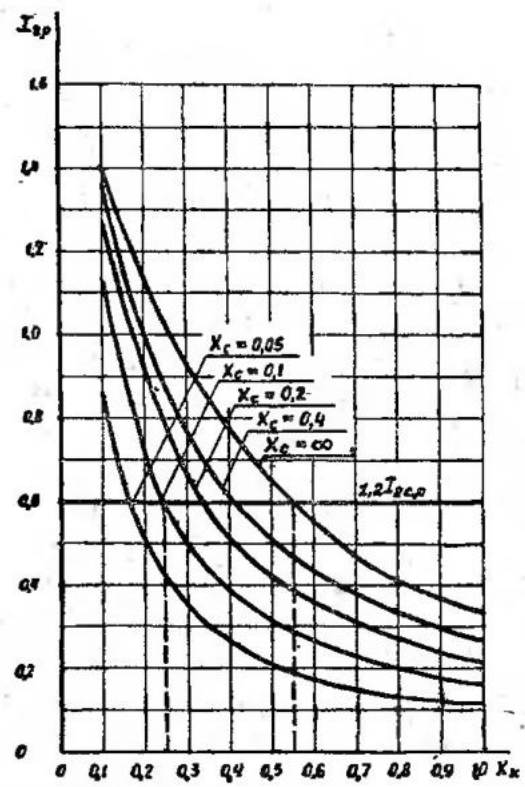


Рис. 39. Ток обратной последовательности в турбогенераторе при замыканиях между двумя фазами в схемах рис. 32.

Расчет чувствительности защит от внешних коротких замыканий

				Турбогенератор		Гидрогенератор	
				Отсутствие системы $x_c = \infty$	Наличие системы $x_c = 0,1$	Отсутствие системы $x_c = \infty$	Наличие системы $x_c = 0,1$
1. Предельное значение x_k , при котором обеспечивается требуемая чувствительность	Максимальная токовая защита с комбинированным пуском напряжения	Токовый орган	К.з. за трансформатором $Y/\Delta, \Delta/Y$	0,9	0,57	0,85	0,22
			К.з. за реактором	0,92	0,58	—	—
	Орган напряжения		0,7	0,32	0,95	0,33	
	Токовая защита обратной последовательности		0,55	0,24	0,32	0,085	
2. Соотношение между номинальными мощностями генератора S_T и повышающего трансформатора S_T' , при котором обеспечивается требуемая чувствительность	Максимальная токовая защита с комбинированным пуском напряжения	$x_{T,ном}$	0,14	$S_T \geq 0,2S_T'$	$S_T \geq 0,44S_T'$	$S_T \geq 0,165S_T'$	$S_T \geq 0,64S_T'$
			0,105	$S_T \geq 0,15S_T'$	$S_T \geq 0,33S_T'$	$S_T \geq 0,124S_T'$	$S_T \geq 0,48S_T'$
	0,14		$S_T \geq 0,255S_T'$	$S_T \geq 0,58S_T'$	$S_T \geq 0,44S_T'$	$S_T \geq 1,65S_T'$	
	0,105		$S_T \geq 0,19S_T'$	$S_T \geq 0,44S_T'$	$S_T \geq 0,33S_T'$	$S_T \geq 1,24S_T'$	
3. Сопротивление трансформатора собственных нужд $x_{T,ном}$ при котором обеспечивается требуемая чувствительность	Максимальная токовая защита с комбинированным пуском напряжения		0,07	0,032	0,0255	0,0066	
	Токовая защита обратной последовательности		0,055	0,024	0,0096	0,00255	

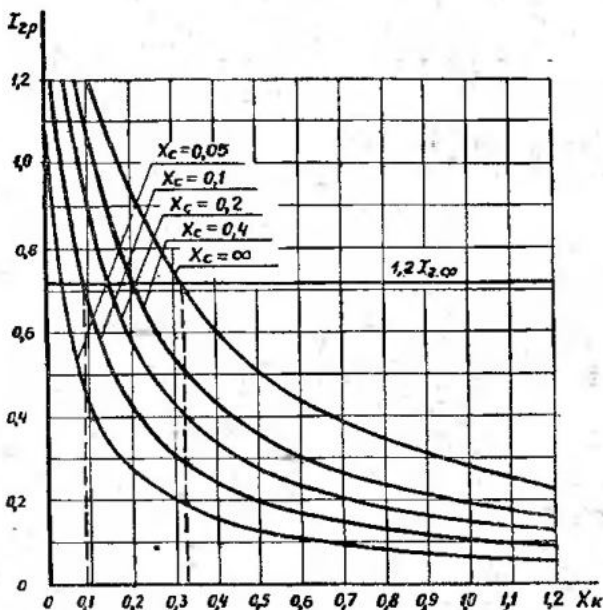


Рис. 40. Ток обратной последовательности в гидрогенераторе при замыканиях между двумя фазами в схемах рис. 32.

Условие надежной работы защиты может быть записано в виде:

$$x_{T,ном} \frac{S_T}{S_T'} \leq x_k \quad (II-25)$$

или

$$S_T \geq \frac{x_{T,ном}}{x_k} S_T' \quad (II-26)$$

где $x_{T,ном}$ — сопротивление трансформатора, отнесенное к его номинальной мощности;
 S_T — номинальная мощность генератора;
 S_T' — номинальная мощность трансформатора.

В п. 2 табл. 6 приведены соотношения между S_T и S_T' по выражению (II-26), для которого x_k заимствуется из п. 1, а $x_{T,ном}$ принимается равным 0,14 — для трансформатора с высшим напряжением 220 кВ и 0,105 — для трансформатора с высшим напряжением 110 кВ.

Из п. 2 табл. 6 следует, что в случае, когда мощности генераторов и повышающих трансформаторов соизмеримы:

а) защиты турбогенераторов имеют достаточную чувствительность к замыканиям между двумя фазами на стороне высшего напряжения повышающего трансформатора;

б) защиты гидрогенераторов имеют достаточную чувствительность при отсутствии системы, но могут отказать в действии при наличии системы относительно большой мощности.

5) По данным п. 1 табл. 6 могут быть также определены сопротивления трансформатора собственных нужд, отнесенные к мощности последнего, при коротком замыкании, за которым обеспечивается требуемая чувствительность. Указанные сопротивления приведены в п. 3 табл. 6 и вычислены по выражению, полученному из (П-25):

$$x_{т.ном} = x_k \frac{S_T}{S_T} \quad (\text{П-27})$$

В выражении (П-27) x_k заимствуется из п. 1 табл. 6, а отношение S_T/S_T принимается равным 0,1 — для турбогенераторов и 0,03 — для гидрогенераторов.

Из п. 3 табл. 6 следует, что обе рассматриваемые

защиты практически нечувствительны к коротким замыканиям за трансформатором собственных нужд, поскольку его сопротивление, как правило, больше приведенного в таблице.

6. Чувствительность рассматриваемых защит, установленных на турбогенераторах, при замыкании между двумя фазами за реактором линии генераторного напряжения оценивается по данным п. 1 табл. 6.

Расчеты показывают, что для случаев $x_c = 0,1 - \infty$ обеспечивается требуемая чувствительность защит, так как сопротивление реактора линии генераторного напряжения, как правило, не превышает значений, указанных в таблице.

Так, например, при мощности генератора $S_T = 75 \text{ Мвт}$ и напряжении $U_T = 10,5 \text{ кв}$ для реактора с индуктивностью 0,5% на 100 а сопротивление, отнесенное к S_T , равно $x_R = 0,206$, а для реактора с индуктивностью 1% на 100 а $x_R = 0,412$.

СОДЕРЖАНИЕ

Глава первая. Схемы защит турбогенераторов и гидрогенераторов, выполненные на постоянном оперативном токе	4
Глава вторая. Схемы защит турбогенераторов и гидрогенераторов, выполненные на переменном оперативном токе	21
Глава третья. Расчет защит турбогенераторов и гидрогенераторов	43
Приложение I. Приближенная оценка величины мертвой зоны защиты от появления второго замыкания на землю в цепи возбуждения турбогенератора (рис. 7)	57
Приложение II. Особенности защиты от замыканий на землю, выполненной с трансформаторами тока нулевой последовательности кабельного или шинного типа, разработанными АН УССР	61
Приложение III. Оценка чувствительности максимальной токовой защиты с комбинированным пуском напряжения и токовой защиты обратной последовательности	64

Цена 42 коп.