

Авторы:

к.т.н. Романов Ю.В.,

к.т.н. Шевелев А.В.,

ООО «Исследовательский

центр «Бреслер»,

г. Чебоксары, Россия.

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ЗАЩИТ БЛОКА «ГЕНЕРАТОР-ТРАНСФОРМАТОР»

Шкаф цифровой релейной защиты типа «ШГ 2114.511» производства ООО «ИЦ «Бреслер» предназначен для реализации комплекса защит блоков генератор-трансформатор различной конфигурации мощностью до 800 МВт, установленных как на тепловых, так и на гидроэлектростанциях. Как правило, в состав комплекса входят две одинаковые системы защиты с независимыми оперативными, измерительными и выходными цепями, т.е. реализуется принцип дублирования. Для защиты генераторов, работающих непосредственно на сборные шины, выпускаются шкафы типа «ШГ 2114.510», описанные в [1].

Шкаф «ШГ 2114.511» удовлетворяет требованиям ПУЭ, заводов-изготовителей первичного оборудования, РД 34.35.310-97, других нормативных документов и изготавливается по согласованному проекту. Проектным организациям по официальному запросу предоставляются типовые решения. Типовые решения выполнены с избыточностью, как функциональной (доступно максимальное число функций защит), так и аппаратной (заложено достаточное число резервных оперативных переключателей и выведенных на клеммы шкафа резервных дискретных входов и выходов), что обеспечивает гибкость привязки под защищаемый объект. Предлагаются услуги по комплексному проектированию и перепроектированию с реализацией «под ключ» системы РЗА всей станции, включая защиты собственных нужд и РУ высокого (сверхвысокого) напряжения. При этом обеспечивается полная унификация всего поставляемого оборудования РЗА, что способствует удобству его обслуживания и эксплуатации.

Пример схемы расстановки защит, входящих в состав шкафа, по трансформаторам тока (ТТ) и трансформаторам напряжения (ТН) приведен на рис. 1. Функциональный состав приведен в табл. 1, где порядковые номера функций защиты соответствуют номерам, обведенным на рис. 1 двойными окружностями. Все защиты разработаны с опорой на отечественный опыт построения систем РЗА стационарного оборудования и на длительный опыт их применения на установках отечественной энергосистемы.

Цифровые терминалы в составе шка-

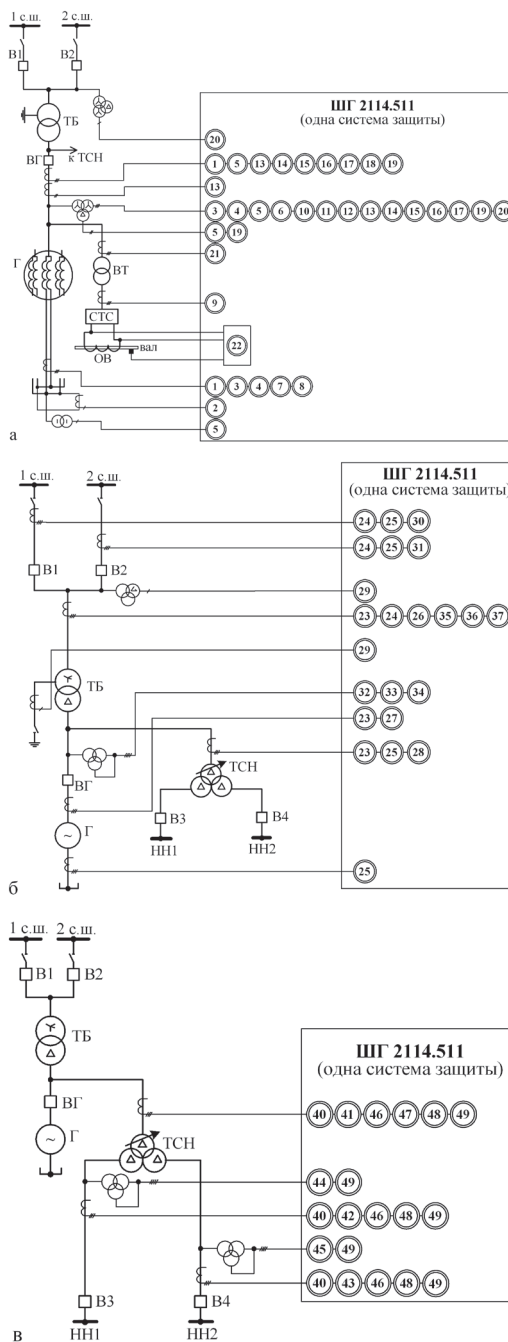


Рис. 1. Схема расстановки защит типового шкафа «ШГ 2114.511» по ТТ и ТН. а – защиты синхронного генератора и системы возбуждения; б – защиты повышающего трансформатора; в – защиты трансформатора собственных нужд





Табл. 1. Функциональный состав шкафа «ШГ 2114.511»

№	Наименование функции защиты
Защиты синхронного генератора и системы возбуждения	
1	Продольная дифференциальная токовая защита генератора
2	Односистемная поперечная токовая дифференциальная защита
3	Максимальная токовая защита с пуском по напряжению
4	Дистанционная защита с функцией блокировки при качаниях
5	Защита от замыкания на землю обмотки статора генератора блока
6	Защита ротора от замыканий на землю в двух точках
7	Защита статора от перегрузки
8	Защита от несимметричной перегрузки, токовая защита обратной последовательности
9	Защита ротора от перегрузки током возбуждения
10	Защита от повышения напряжения
11	Защита от снижения напряжения
12	Защита от перевозбуждения
13	Защита обратной активной мощности
14	Защита от потери возбуждения
15	Защита от асинхронного режима без потери возбуждения
16	Защита от изменения (повышения, снижения) частоты
17	Защита от непреднамеренного включения генератора
18	Функция резервирования при отказе генераторного выключателя
19	Блокировка при неисправности цепей напряжения переменного тока
20	Функция контроля синхронизма
21	Максимальная токовая защита и токовая отсечка выпрямительного трансформатора
22	Защита ротора от замыкания на землю в одной точке
Защиты повышающего трансформатора (ТБ)	
23	Дифференциальная защита трансформатора блока
24	Дифференциальная защита ошиновки
25	Резервная дифференциальная защита блока
26	Максимальная токовая защита ВН ТБ
27	Максимальная токовая защита НН ТБ
28	Максимальная токовая защита ВН ТСН
29	Токовая защита нулевой последовательности
30	Функция резервирования при отказе выключателя ВН1
31	Функция резервирования при отказе выключателя ВН2
32	Комбинированный пуск по напряжению НН ТБ
33	Сигнализация при замыкании на землю НН ТБ
34	Контроль отсутствия напряжения и пуск пожаротушения
35	Реле тока пуска охлаждения ТБ
36	Защита от перегруза ТБ
37	Защита при потере охлаждения ТБ
38	Технологические защиты ТБ
39	Газовая защита ТБ
Защиты трансформатора собственных нужд (ТСН)	
40	Дифференциальная токовая защита ТСН
41	Максимальная токовая защита ВН ТСН
42	Максимальная токовая защита НН1 ТСН
43	Максимальная токовая защита НН2 ТСН
44	Комбинированный пуск по напряжению НН1
45	Комбинированный пуск по напряжению НН2
46	Реле тока пуска охлаждения ТСН
47	Реле тока блокировки РПН
48	Защиту от перегруза ТСН
49	Дистанционная защита ТСН
50	Технологические защиты ТСН
51	Газовая защита ТСН

фа поставляются с ПО, которое максимально адаптировано под проект в соответствии с заданием заводу-изготовителю.

Функциональные особенности шкафа

• Продольная дифференциальная защита трансформатора (ДЗТ)

В состав шкафа могут входить до шести-семи отдельных дифференциальных защит: для генератора, ТБ, рабочего или резервного ТСН, выпрямительного трансформатора, ошиновки стороны ВН ТБ или генераторного напряжения, резервной дифференциальной защиты блока.

ДЗТ выполнена трёхфазной и состоит из токовой отсечки (ДТО) и ИО с торможением от максимального из токов плеч. Характеристика срабатывания ДЗТ изображена на рис. 2.

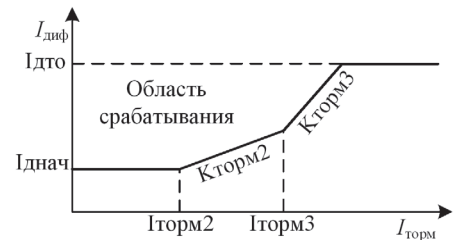


Рис. 2. Характеристика срабатывания ДЗТ

ДТО предназначена для быстрого отключения повреждений с большим током КЗ и выполнена в виде реле максимального действия с уставкой «I_{дноч}» без выдержки времени. ИО с торможением имеет характеристику срабатывания, состоящую из трёх участков:

1) горизонтальный участок с уставкой «I_{дноч}» обеспечивает высокую чувствительность к внутренним витковым повреждениям;

2) первый наклонный участок (уставки «I_{торм2}» и «K_{торм2}») обеспечивает отстройку защиты от токов небаланса при малых токах внешних КЗ и режимов пуска или самозапуска двигательной нагрузки;

3) второй наклонный участок (уставки «I_{торм2}» и «K_{торм2}») от-



страивается от токов небаланса при насыщении одного или нескольких трансформаторов тока в режиме внешнего КЗ.

Для исключения излишней работы ДЗТ в режиме броска намагничивающего тока трансформатора предусмотрена блокировка ИО с торможением одновременно по форме дифференциального тока и по его составляющей второй гармоники относительно составляющей основной частоты. Известно, что блокировка по второй гармонике способна вызвать замедление срабатывания ДЗТ при внутренних КЗ со значительным насыщением трансформаторов тока. Для предотвращения этого имеется возможность использовать режим автоматической активации блокировки по второй гармонике – она вводится в работу только при внешнем КЗ и при постановке трансформатора на холостой ход, при этом блокировка по форме тока активна постоянно.

ИО с торможением может излишне сработать в режиме перевозбуждения трансформатора в результате повышения напряжения или снижения частоты. В то же время допускается работа трансформатора в данном режиме некоторое время. Отстройка ДЗТ от этого аномального режима осуществляется по отношению пятой гармоники дифференциального тока к составляющей основной гармоники.

Существует вероятность излишнего отключения от ДЗТ в рабочем режиме блока в результате неисправностей (обрывов и замыканий) во вторичных цепях тока, т.к. уставка «Иднач» типично выбирается меньше номинального (базисного) тока – от 0,2 до 0,5 о.е. В связи с тем, что комплекс защит блока генератор-трансформатор чаще всего выполняется дублированным, данного отключения было бы целесообразно избежать, т.к. выполнение функции ДЗТ в этот момент осуществляется вторым комплектом РЗА блока. Для предотвращения излишнего срабатывания ДЗТ в схеме защиты предусмотрен быстродействующий модуль контроля исправности цепей тока, действующий

либо на блокировку ИО с торможением, либо на его загрузку до уставки выше номинального (базисного) тока.

При выполнении ДЗТ следует учитывать, что обмотки трансформатора могут иметь различные группы и схемы соединения, в общем случае – от 0 до 11 группы. Компенсация группы соединения обмоток осуществляется с помощью уставок, задаваемых отдельно для каждой из сторон трансформатора. Предусмотрена возможность принудительного удаления токов нулевой последовательности по выбранным сторонам.

Как правило, номинальные токи трансформаторов тока плеч ДЗТ отличаются от базисных токов сторон трансформатора таким образом, что для приведения измеряемых токов к единому базису требуется выравнивание токов. Предусмотрено предварительное выравнивание с помощью выбора номинального вторичного тока терминала и точное выравнивание с использованием цифровых коэффициентов, задаваемых отдельно для каждого плеча. Выравнивание обеспечивается в диапазоне номинальных вторичных токов от 0,2 до 10 А (от 0,1 А – по спецзаказу).

• Резервная дифференциальная защита блока (РДЗБ)

РДЗБ выполнена с двумя выдержками времени на срабатывание. С первой выдержкой защита действует на отключение выключателя генератора и АГП, со второй – на отключение всего блока. Чтобы не отстраивать вторую выдержку от времени действия АГП, действие РДЗБ на отключение всего блока может быть выполнено с контролем тока со стороны сети.

• Продольная дифференциальная защита генератора (ДЗГ)

Нейтраль обмотки статора генераторов отечественного производства выполняется либо изолированной, либо заземлённой через дугогасящий реактор. В обоих случаях режим внутреннего однофазного КЗ

невозможен. Данное обстоятельство используется для повышения надёжности работы ДЗГ. Логика защиты построена таким образом, что при возникновении внутренних многофазных КЗ сигнал срабатывания ДЗГ формируется только в случае, если срабатывают дифференциальные ИО одновременно в любых двух фазах.

Аналогично ДЗТ в ДЗГ применяется цифровое выравнивание токов плеч, а также быстродействующий модуль контроля исправности цепей тока.

• Дистанционная защита генератора (ДЗ)

ДЗ выполнена трёхфазной, поэтому она реагирует как на симметричные, так и на несимметричные КЗ.

Защита состоит из двух ступеней и эффективно осуществляет как дальнее, так и ближнее резервирование. Зоны действия ступеней ДЗ обозначены на рисунке 3.

Протяжённость зоны второй ступени, предназначенной для дальнего резервирования, выбирается из условия отстройки от режима наибольшей реально возможной нагрузки. Первая ступень резервирует основные защиты блока. Для надёжного охвата обмотки ВН повышающего трансформатора её зона действия пересекается с зоной действия первой ступени резервных защит смежных элементов. Из-за этого данная ступень не может быть выполнена быстродействующей, по условию отстройки от времени действия УРОВ её время срабатывания составляет порядка 1 с. Полноценное резервирование основной защиты генератора от симметричных КЗ может быть осуществлено с помо-

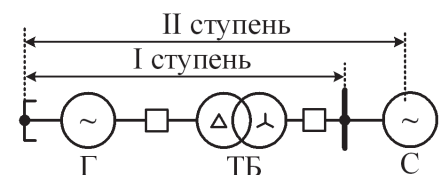


Рис. 3. Зоны действия ступеней ДЗ



щью дополнительной быстродействующей ступени ДЗ с зоной действия, не выходящей за пределы блока генератор-трансформатор.

В настоящее время во многих проектах ДЗ выполняется с подключением к ТТ в цепи генератора со стороны линейных выводов. Следует отметить, что в этом случае из зоны охвата выпадает обмотка статора, более того, такая реализация защиты противоречит п.п. 3.2.45 и 3.2.81 ПУЭ [2]. В типовом шкафу «ШГ 2114.511» ДЗ присоединяется к ТТ, установленным в цепи генератора со стороны нулевых выводов, в полном соответствии с отечественной идеологией построения данной защиты.

Согласно п. 3.2.78 ПУЭ [2], первая ступень ДЗ должна выполняться с блокировкой при качаниях (БК). В шкафу «ШГ 2114.511» функция БК реализована на токовом принципе, без использования цепей напряжения. В качестве измеряемых величин используются приращения токов прямой и обратной последовательности, что обеспечивает высокую чувствительность к удалённым КЗ, с запасом превышающую чувствительность второй ступени ДЗ. В отличие от БК по замеру комплексного сопротивления, блокировка на токовом принципе полностью исключает вероятность ложного срабатывания ДЗ при неисправностях цепей напряжения, что существенно повышает надёжность работы защиты. С учётом этого рекомендуется использовать БК также и для второй ступени ДЗ.

• Максимальная токовая защита с пуском по напряжению (МТЗН)

Иногда чувствительность ДЗ может оказаться недостаточной, к примеру, для укрупнённых блоков. В этих случаях требуемую чувствительность, как ни странно, может обеспечить МТЗН.

В соответствии с п. 3.2.43 ПУЭ [2], срабатывание ИО напряжения обратной последовательности в схеме комбинированного пуска МТЗН приводит к срабатыванию ИО линейного напряжения минимального действия, даже если значение его замера превышает

его значение уставки. Благодаря такой реализации чувствительность пуска по напряжению к симметричным КЗ повышается на 20 %. Дополнительно повысить чувствительность к внешним КЗ можно за счёт включения в схему защиты ИО линейного напряжения на стороне ВН блока.

Ток КЗ генератора может значительно уменьшиться со временем, приведя к возврату защиты до истечения выдержки времени на срабатывание. В этом случае надёжное срабатывание МТЗН обеспечивается введением логики самоподхвата. При активации самоподхвата сигнал пуска выдержек времени удерживается до тех пор, пока осуществляется пуск по напряжению.

• Защита от замыкания на землю обмотки статора генератора блока (ЗЗГ)

ЗЗГ является усовершенствованным аналогом защиты типа ЗЗГ-1 (БРЭ 1301.01) [3] и выполнена по напряжению нулевой последовательности $3u_0$, измеряемому как со стороны нейтрали обмотки статора, так и со стороны линейных выводов генератора.

Зона действия ЗЗГ охватывает 100 % обмотки статора, что достигается взаимодействием входящих в состав защиты блока основной гармоники и блока третьей гармоники напряжения $3u_0$.

К основным достоинствам защиты относятся простота исполнения и чувствительность ко всем видам однофазного замыкания на землю, включая повторно-кратковременные замыкания через перемежающуюся дугу.

ЗЗГ применима для блоков любой конфигурации, в том числе для укрупнённых и имеющих на генераторном напряжении электрическую связь с сетью собственных нужд или потребителей (через токоограничивающий реактор).

Защита от замыканий на землю обмотки статора генератора блока с электрической связью с сетью собственных нужд или потребителей

часто выполняется по способу наложения контрольного тока с частотой 25 Гц. Данный способ позволяет выявить устойчивые замыкания, однако выявление повторно-кратковременных замыканий через перемежающуюся дугу гарантироваться не может. Дело в том, что сеть генераторного напряжения рассматриваемого типа блока, как правило, выполняется без компенсации ёмкостного тока. В таких сетях частота пробоя в месте повторно-кратковременного замыкания довольно высокая, может быть порядка 50 Гц и выше. Из-за этого в контрольном токе составляющая с частотой 25 Гц может отсутствовать, что приводит к отказу защиты. Исходя из указанных соображений, для защиты генератора такого блока рекомендуется использовать ЗЗГ с двухступенчатым действием [4]. При возникновении замыкания на землю в сети генераторного напряжения ЗЗГ с первой выдержкой времени действует на отключение выключателя реактированной отпайки, а на отключение генераторного выключателя действует со второй выдержкой времени. Общее время срабатывания защиты не превышает 1 с. Неселективное действие первой ступени ЗЗГ исправляется работой АВР.

Неисправность цепей напряжения может привести к ложному срабатыванию блока третьей гармоники $3u_0$. Для предотвращения ложного срабатывания защиты однофазный ТН и ТН на линейных выводах генератора должны защищаться общим автоматом. Такая мера позволяет отстроиться от замыканий в цепях напряжения, однако при обрывах она неэффективна. Кроме того, в настоящее время во многих проектных решениях указанные ТН защищаются разными автоматами. В этих условиях надёжная отстройка от всевозможных неисправностей цепей напряжения обеспечивается применением в схеме ЗЗГ дополнительной блокировки по напряжению $3u_0$.

Блок третьей гармоники выполнен с фильтром составляющей 150 Гц.

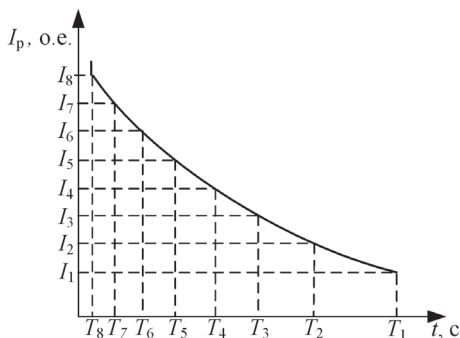


Рис. 4. Характеристика срабатывания ИВВС



Рис. 5. Структура конфигурации терминала

Поскольку для генераторов третья гармоника $3u_0$ не превышает 3 % от уровня основной гармоники, при отклонении частоты сети от номинального значения может возникнуть значительная погрешность фильтрации. Без принятия специальных мер это может привести к избыточному срабатыванию защиты в некоторых аномальных режимах работы генератора. В ЗЗГ фильтр 150 Гц полностью избавлен от влияния составляющей основной гармоники – частоты от 0 до 75 Гц подавляются более чем в 100 раз.

• Защита ротора от перегрузки током возбуждения (ЗРП)

Функция ЗРП обеспечивает защиту ротора от перегрузки током возбуждения I_p , как при основном, так и при резервном возбуждении.

Защита состоит из сигнального ИО тока максимального действия, действующего с независимыми выдержками времени на срабатывание, токовой отсечки, также действующей с независимыми выдержками времени, и интегральной ступени с обратной зависимой выдержкой времени на срабатывание (ИВВС).

Характеристика срабатывания ИВВС, изображённая на рис. 4, задаётся по восьми точкам с координатами (I_1, T_1) , (I_2, T_2) , (I_3, T_3) , (I_4, T_4) , (I_5, T_5) , (I_6, T_6) , (I_7, T_7) и (I_8, T_8) . Благодаря такой реализации время срабатывания ИВВС полностью соответствует перегрузочной характеристике генератора, кроме того, кардинально упро-

щается процедура выбора уставок защиты.

При возврате пускового ИО тока ИВВС переводится в режим имитации охлаждения. Время полного охлаждения задаётся уставкой «Тохл», равной интервалу времени, в течение которого генератор охладится в $e^2 \approx 7,389$ раз.

Надёжность работы релейной защиты обеспечивается, помимо прочего, правильной настройкой её параметров срабатывания. В комплект поставки шкафа «ШГ 2114.511» входят рекомендации по расчёту уставок и конфигурированию защит блока генератор-трансформатор. Для автоматизации расчёта уставок ООО «ИЦ «Бреслер» предлагает платный продукт – программу автоматизированного выбора уставок PSC2.

Шкафы защиты изготавливаются с использованием современной базы устройств РЗА, поддерживающих стандарт МЭК 61850. Они могут иметь до 8 портов связи (USB, RS-485, 2xEthernet (ВОЛС) или 2xRS-485, 2xEthernet (ВОЛС), 2xВОЛС) с поддержкой протоколов ModBus-RTU, ModBus-ASCII, МЭК 60870-5-103, IEEE C37.94 и стандартов МЭК61850-8-1, МЭК 61850-9-2 (до 6 потоков МЭК 61850-9-2LE) по отдельным портам связи. Пары портов связи могут работать в режиме резервирования по стандарту МЭК 62439-3 PRP.

В комплект поставки шкафа входит подробная инструкция по его монтажу и техническому обслуживанию. Данная инструкция даёт чёткие

представления о том, как правильно обеспечивать и поддерживать электромагнитную совместимость шкафа. Для проведения наладочных работ предоставляется программа и методика испытаний вместе с бланком протокола испытаний. Терминалы, входящие в состав шкафа, являются свободно конфигурируемыми с помощью инструмента графического программирования. Благодаря конфигурируемой логике устройства (рис. 5) в среде графического программирования можно задать необходимый порядок и алгоритм функционирования и взаимодействия основных блоков защиты, автоматики, управления и сигнализации, настроить аналоговые входы, информацию, выводимую на дисплей (ИЧМ), то есть произвести полную начальную настройку терминала. Через сервисное программное обеспечение доступна быстрая и простая конфигурация дискретных входов/выходов, светодиодов, осциллографа и регистратора событий.

Литература

1. Романов Ю.В., Алексеев А.Г. Особенности защиты генератора, работающего непосредственно на сборные шины // Электрические станции. – 2013. – № 11. – С. 45-48.
2. Правила устройства электроустановок, издание седьмое // ИЦ ЭНАС. – М. – 2004.
3. Кискачи В.М. Защита генераторов энергоблоков от замыканий на землю в обмотке статора // Электричество. – 1975. – № 1. – С. 25-31.
4. Каневский Я.М. Применение устройства БРЭ 1301.01 для защиты от замыканий на землю статора генератора в блоке генератор-трансформатор с отвлечением // Энергетик. – 2004. – № 4. – С. 33-34.