

О резервировании основных защит блоков генератор – трансформатор на электрических станциях

Сивокобыленко В. Ф., доктор техн. наук, Гребченко Н. В., канд. техн. наук

Донецкий государственный технический университет

Блоки генератор – трансформатор электрических станций (ТЭС, АЭС) являются основными элементами электрических систем. Поэтому вопросам их релейной защиты уделяется большое внимание [1 – 3]. Согласно [1] на этих элементах должны предусматриваться основные и резервные защиты, обеспечивающие отключение коротких замыканий в режимах ближнего и дальнего резервирования. В зарубежной практике (США, Франция и др.) для таких объектов, как правило, предусматривается не менее двух комплектов каждого типа защит, выходные реле которых воздействуют на отдельные катушки отключения коммутационных аппаратов, для питания которых предусматриваются два независимых источника оперативного тока [2].

На блочных электростанциях стран СНГ уровень резервирования существенно ниже, хотя также предусматриваются два независимых источника оперативного тока (один на ОРУ – общий и второй в машзале – на 1 – 2 блока). Однако для питания разных защит одного элемента эта возможность не используется, и, как правило, ограничиваются подачей питания на основные и резервные защиты от разных автоматических выключателей, подключенных к одной аккумуляторной батарее. Как показывает опыт эксплуатации, при таком подходе при выходе из строя одного из источников оперативного тока и возникновении КЗ в питающей системе или системе собственных нужд (с.н.) возможна системная или общестанционная авария с тяжелыми последствиями. Например, на одной из ТЭС Украины с блоком 300 МВт при КЗ на двигателе с.н. 6 кВ произошла потеря оперативного постоянного тока. В результате продолжительного КЗ произошло повреждение шести ячеек КРУ с.н. 6 кВ, рабочего трансформатора собственных нужд 20/6 кВ, главного блочного трансформатора с возникновением пожара; были также отключены еще два блока 300 МВт, все линии 110 кВ ТЭС, а также несколько линий прилегающей сети. Подобные аварии периодически происходят и на других электрических станциях. Таким образом, опыт эксплуатации блочных ТЭС и АЭС указывает на необходимость совершенствования принятого подхода к осуществлению релейной защиты энергоблоков с целью предотвращения развития аварий и возможности их перехода в системные, а также для уменьшения объема повреждения оборудования при КЗ.

В настоящее время согласно [1] на всех блоках генератор – трансформатор ТЭС и АЭС в качестве основных защит от внутренних повреждений основного оборудования блока установлены дифференциальные защиты генератора, блочного трансформатора и рабочего трансформатора с.н., ошиновки на стороне высшего напряжения ВН, а в качестве резервной – дифференциальная защита блока, охватывающая все указанное оборудование, в том числе и частично рабочий трансформатор с.н., если трансформаторы тока (ТТ) на ответвлении к нему не используются для резервной дифференциальной защиты блока. Кроме указанных защит, установлены также резервные защиты от внутренних и внешних симметричных и несимметричных КЗ в оборудовании блока и в сети ВН и с.н. 6 кВ [1, 3].

Поставим задачу усовершенствования существующих защит блоков таким образом, чтобы при выходе из строя одного из источников оперативного тока и возникновении КЗ на генераторном напряжении, на ошиновке блока ВН и сети ВН или в системе с.н. 6 кВ осуществлялось отключение блока основными или резервными защитами, чтобы предотвратить повреждение его оборудования и развитие аварии.

Отметим, что в сложившейся практике дифференциальная защита ошиновки ВН и цепи управления выключателя ВН блока подключаются к аккумуляторной батарее (АБ) на ОРУ (источник оперативного тока ИОТ2), а остальные защиты и цепи управления выключателя между генератором и блочным трансформатором (при его наличии) – к АБ блока (ИОТ1). Управление автоматом гашения поля (АГП) в цепи ротора осуществляется от ИОТ1, но также имеется возможность гашения поля ротора непосредственно от контактов выходных реле защит блока по цепям возбуждения.

С учетом изложенного авторами разработан способ резервирования защит блока, состоящего из генератора, блочного трансформатора, трансформаторов собственных нужд и секций с.н. 6 кВ. Он предназначен для применения на блоках ТЭС и АЭС, в первичной схеме которых отсутствует или установлен предназначенный для отключения тока КЗ выключатель между генератором и блочным трансформатором. Способ основан на использовании резервной дифференциальной защиты блока повышенной чувствительности (ЧДЗБ). Оперативные цепи этой защиты подключаются к другому

независимому источнику оперативного тока по отношению к тому, который используется для питания основных защит блока, например, подключается к аккумуляторной батарее, установленной на ОРУ (ИОТ2). ЧДЗБ позволяет надежно защитить оборудование блока при потере оперативного тока на основных защитах блока, а также при всех возможных распространениях повреждения из-за возникновения КЗ: в системе с.н. 6 кВ, в рабочих трансформаторах системы с.н., трансформаторах возбуждения, в генераторе и блочном трансформаторе.

Это достигается за счет того, что цепи переменного тока ЧДЗБ подключаются со стороны высокого напряжения (ВН) блока к встроенным во вводы блочного трансформатора трансформаторам тока и к ТТ, установленным со стороны нулевых выводов генератора. При этом к защите не подключаются ТТ, установленные на генераторном напряжении со стороны ответвлений к трансформаторам собственных нужд. В дифференциальную цепь защиты включается чувствительный токовый орган, выполненный на токовом реле с торможением, например, типа ДЗТ-11. Тормозная обмотка этого реле подключается к ТТ со стороны генератора и предотвращает срабатывание реле при внешних КЗ на стороне ВН блока. В основу разработанной защиты ЧДЗБ положен дифференциально-токовый принцип.

На рис. 1 и 2 приведена принципиальная схема ЧДЗБ. Для защиты ЧДЗБ используются отдельные обмотки соответствующих ТТ, а при их отсутствии может быть рассмотрен вопрос использования токовых цепей существующей дифзащиты блока, в которой дополнительно устанавливаемые токовые реле типа ДЗТ включаются последовательно с реле основной дифференциальной защиты блока (на рис. 1 показана пунктиром). Защита ЧДЗБ имеет значительно большую чувствительность, чем основная защита. ЧДЗБ отстроена по времени на ступень селективности от защиты питающих вводов секций 6 кВ с.н. Она действует на отключение выключателей ВН блока $Q1$, гашение поля генератора и на выходные реле защит блока.

Для схем без выключателей в цепи генератора (см. рис. 1, 2) при КЗ на генераторном напряжении, в блочном трансформаторе или на его стороне ВН защита ЧДЗБ действует на отключение всего блока и гашение поля генератора без выдержки времени, а при КЗ в системе с.н. 6 кВ – с выдержкой времени порядка 0,7 с, которая принимается такой же, как у дистанционной защиты или МТЗ на стороне ВН рабочего трансформатора с.н. Последнее достигается за счет того, что защита ЧДЗБ содержит два пусковых органа минимального напряжения. Один из них подключен к трансформатору напряжения, установленному со стороны выводов низшего напряжения блочного трансформатора. Уставка срабатывания этого органа принима-

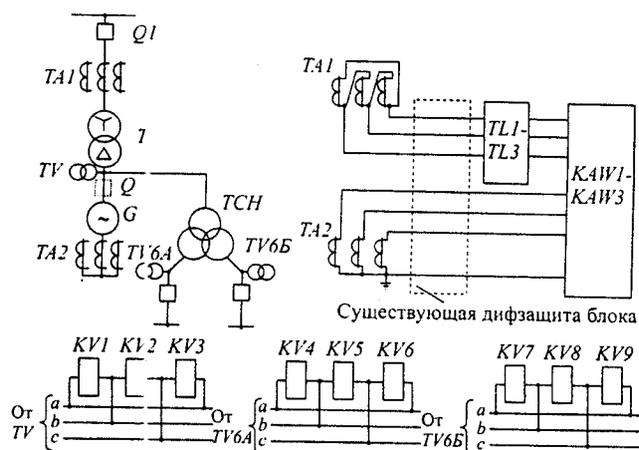


Рис. 1. Цепи переменного тока ЧДЗБ

ется равной порядка $0,75U_{ном}$ и выбирается из условия отстройки от напряжения на выводах НН блочного трансформатора при трехфазном КЗ на выводах НН трансформатора с.н. с коэффициентом надежности 1,3. При таком подходе обеспечивается надежное срабатывание защиты ЧДЗБ при КЗ на стороне ВН блочного трансформатора. Второй орган минимального напряжения, с целью отстройки от режимов самозапуска двигателей с.н. секций 6 кВ, подключается к трансформаторам напряжения, установленным со стороны выводов каждой из обмоток 6 кВ одного (двух) рабочего трансформатора с.н. Уставка реле минимального напряжения этого органа принимается порядка $0,5U_{ном}$.

Для предотвращения срабатывания ЧДЗБ от токов включения блочного трансформатора в качестве выходных в ЧДЗБ применяются промежуточные реле со временем срабатывания порядка 0,06 – 0,08 с.

Ток срабатывания защиты ЧДЗБ (реле $KAW1 - KAW3$) выбирается исходя из величины тока трехфазного КЗ на шинах одной из секций собственных нужд 6 кВ в минимальном режиме системы путем деления последнего на коэффициент чувствительности порядка 1,5. При этом ток срабатывания ЧДЗБ должен на 8 – 10% превышать ток срабатывания максимальной токовой защиты или ток, соответствующий срабатыванию дистанционной защиты ВН трансформатора с.н.

Для выравнивания МДС в плечах защиты токовые реле ЧДЗБ могут быть подключены через повышающие или понижающие автотрансформаторы тока $TL1 - TL3$.

Для схем блоков с выключателем в цепи генератора в оперативных цепях защиты (рис. 3) имеют место следующие особенности. Действие защиты ЧДЗБ при КЗ в системе с.н. 6 кВ остается таким же, как указано ранее. При КЗ в генераторе или в блочном трансформаторе на его сторонах ВН и НН защита действует без выдержки времени

только на отключение выключателя Q и гашение поля G . Если при этом КЗ было в генераторе, то напряжение на выводах НН блочного трансформатора восстанавливается и обеспечивается питание с.н. от рабочих трансформаторов с.н., а действие защиты ЧДЗБ прекращается. Если КЗ было в блочном трансформаторе, то действием защиты с выдержкой времени порядка 0,25 с, отстроенной от времени отключения выключателя Q и восстановления напряжения, отключается весь блок.

Для действующих электрических станций может быть рассмотрен вопрос о подключении токовых цепей разработанной ЧДЗБ к токовым цепям существующих дифференциальных защит блоков (рис. 1), которые выполнены с использованием ТТ со стороны нулевых выводов генератора ($TA2$) и со стороны ВН блока ТТ, встроенных в блочный трансформатор ($TA1$). При этом необходимо проверить допустимость увеличения нагрузки на ТТ, а также оценить степень понижения надежности существующей дифзащиты блока. Основная дифференциальная защита блока может быть выполнена, например, на реле типа РНТ, а ЧДЗБ – на реле $КАW1 - КАW3$ типа ДЗТ.

Ток срабатывания ЧДЗБ определяется из условия отстройки от тока КЗ на шинах 6 кВ с.н. При этом для выравнивания токов в плечах защиты в нормальном режиме необходимо установить повышающие автотрансформаторы тока $TL1-TL3$ типа АТ-31. Торможение в защите ЧДЗБ используется для отстройки от внешних КЗ на стороне ВН. Пусковые органы минимального напряжения на реле напряжения $KV1 - KV6$ предотвращают работу защиты при samozапуске двигателей.

Далее в качестве примера приведем расчет уставок ЧДЗБ для блока 300 МВт, подключенного к шинам ОРУ 330 кВ с ТТ с коэффициентами трансформации $k_{TA} = 2000/1$ со стороны 330 кВ и $k_{TA} = 12000/5$ со стороны нулевых выводов генератора. Для выравнивания токов в плечах дифференциальной защиты ЧДЗБ устанавливаются со стороны трансформаторов тока на 330 кВ повышающие автотрансформаторы тока типа АТ-31 с коэффициентом трансформации

$$k_{TL} = \frac{w_{1-2}}{w_{1-11}} = \frac{486}{66} = 7,36,$$

где w_{1-2} и w_{1-11} – числа витков соответственно первичной и вторичной обмоток АТ.

Вторичные токи в плечах защиты в нормальном режиме:

со стороны генератора

$$I_{2НН} = \frac{I_{НОМ}}{k_{ТА}} = \frac{10200}{12000/5} = 4,25 \text{ А};$$

на стороне ВН трансформатора блока

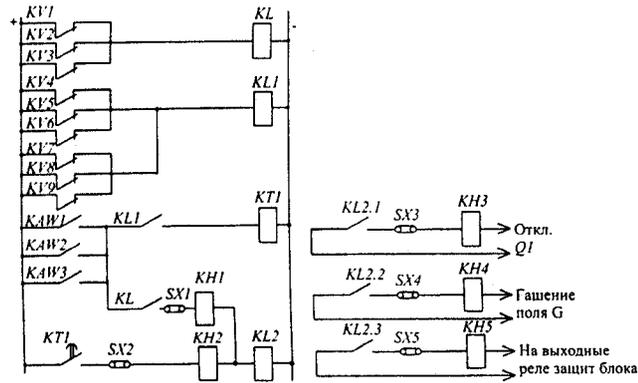


Рис. 2. Цепи постоянного тока ЧДЗБ

$$I_{2ВН} = \frac{I_{НОМ} U_{НОМНН} k_{СХ} k_{TL}}{U_{НОМВН} k_{ТА}} = \frac{10200 \cdot 20 \sqrt{3} \cdot 7,36}{347 \cdot 2000/1} = 3,74 \text{ А},$$

где $k_{СХ}$ – коэффициент схемы соединения вторичных обмоток ТТ и реле.

Расчет тока срабатывания ЧДЗБ выполним исходя из минимального значения тока КЗ в сети 6 кВ и обеспечения коэффициента чувствительности защиты по току срабатывания не ниже 1,5, например, $K_{\chi} = 1,57$. Тогда при минимальном токе трехфазного КЗ на шинах собственных нужд 6 кВ, равном 9,39 кА по данным Донбассэнерго, ток срабатывания защиты при отсутствии торможения составит со стороны 6, 20, 330 кВ:

$$I_{сраб}^{6кВ} = \frac{9,39}{1,57} = 6 \text{ кА};$$

$$I_{сраб}^{20кВ} = \frac{9,39 \cdot 6,3/20}{1,57} = 1,89 \text{ кА};$$

$$I_{2сраб}^{20кВ} = \frac{1890}{12000/5} = 0,787 \text{ А};$$

$$I_{сраб}^{330кВ} = \frac{9,39 \cdot 6,3/347}{1,57} = 0,108 \text{ кА};$$

$$I_{2сраб}^{330кВ} = \frac{108 \sqrt{3}}{2000/1} = 0,094 \text{ А}.$$

Необходимое число витков на обмотках реле ДЗТ-11/3 при магнитодвижущей силе срабатывания $F_{ср} = 100 \text{ В} \cdot \text{А}$ со стороны 20 кВ составит

$$w_{20} = \frac{F_{ср}}{I_{2сраб}^{20кВ}} = \frac{100}{0,787} = 127;$$

со стороны 330 кВ с учетом автотрансформаторов тока

$$w_{330} = \frac{F_{ср}}{I_{2сраб}^{330кВ} k_{TL}} = \frac{100}{0,094 \cdot 7,36} = 144,5.$$

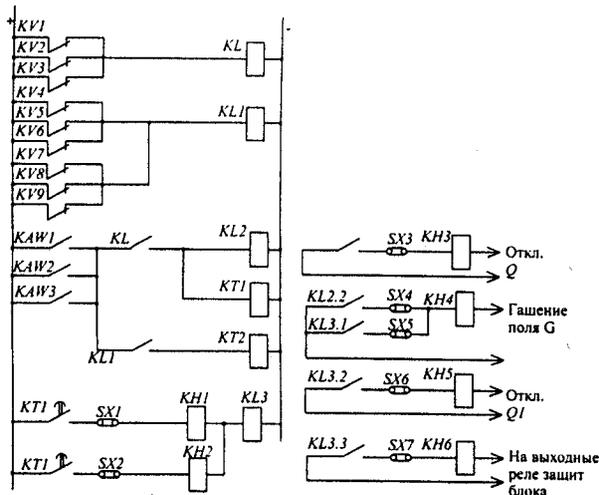


Рис. 3. Цепи постоянного тока ЧДЗБ (при наличии выключателя Q в цепи генератора)

При внешнем КЗ на стороне 330 кВ вторичный ток

$$I_{2ВН}^K = 3,3 I_{ном} \frac{k_{сх} k_{TL}}{k_{ТА}} = 3,3 \cdot 588 \frac{\sqrt{3} \cdot 7,36}{2000/1} = 12,35 \text{ А.}$$

Тогда при погрешности трансформаторов тока 10% ток небаланса в рабочей обмотке составит

$$I_{н6} = 0,1 I_{к330} = 0,1 \cdot 12,35 = 1,23 \text{ А}$$

и будет создавать в рабочей обмотке магнитодвижущую силу МДС

$$F_p = 1,23 w_p = 1,23(17 + 127) = 177 \text{ А.}$$

Торможение должно надежно превышать эту МДС с коэффициентом надежности $k_n = 1,6$, т.е. $1,6 \cdot 177 = 283 \text{ А}$.

Тогда по тормозной характеристике ДЗТ-11/3 [4] в режиме минимального торможения находим требуемую для несрабатывания реле тормозную МДС, которая должна быть не менее $F_T = 310 \text{ А}$.

$$w_T = \frac{F_T}{I_T} = \frac{310}{12,35} = 25.$$

Необходимое число витков рабочей обмотки (144) устанавливается на первой рабочей обмотке (зажимы 1–2) реле ДЗТ-11/3 (общая часть 92 + 35) и на третьей рабочей обмотке, включаемой во вторичную цепь ТА со стороны 330 кВ (зажимы 6–9 5 + 12 витков). В нормальном режиме в общей части рабочей обмотки защиты протекает разность токов, равная $4,25 - 3,74 = 0,51 \text{ А}$, т.е. меньше, чем длительно допускает первая рабочая обмотка – 1 А. В третьей рабочей обмотке в нормальном режиме протекает ток 3,74 А, а допустимый для нее ток – 8 А. Ток в тормозной обмотке (3,74 А) в нормальном режиме не превышает допустимого – 8 А. Схема включения реле фазы А

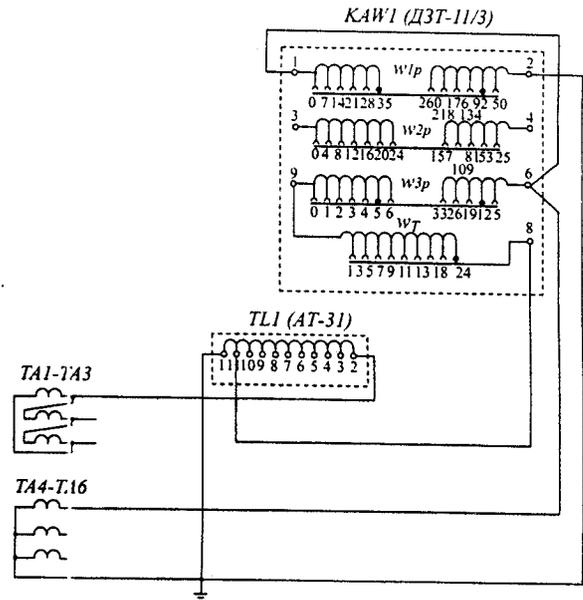


Рис. 4. Схема включения токового реле фазы А защиты ЧДЗБ

типа ДЗТ-11/3 с установленными выбранными витками приведена на рис. 4.

Уставка пусковых органов минимального напряжения по стороне 6 кВ принимается из условия отстройки от режима одновременного группового самозапуска двигателей с.н. обеих секций 6 кВ

$$U_{ср6кВ} \leq \frac{U_{сз.мин}}{k_n k_B} = \frac{0,65 U_n}{1,1 \cdot 1,2} = 0,5 U_n.$$

Органы блокировки минимального напряжения одновременно предотвращают действие ЧДЗБ при обрыве токовых цепей дифференциальной защиты блока.

С целью предотвращения пуска защиты из-за высокой чувствительности к несимметричным КЗ пусковой орган выполнен на трех реле минимального напряжения, а не комбинированным.

Таким образом, в предложенной схеме дифференциальная защита блока выполняется двухступенчатой: с грубой (существующей) и чувствительной (дополнительной) ступенями. При этом грубая ступень защищает генератор G и блочный трансформатор T и не чувствительна к КЗ за трансформатором собственных нужд. Для нее используется источник оперативного тока № 1. Чувствительная ступень (ЧДЗБ) защищает те же элементы и рабочий трансформатор с.н. полностью, сборные шины 6 кВ и частично кабели, двигатели 6 кВ, трансформаторы 6/0,4 кВ, трансформатор системы возбуждения. Для нее используется источник оперативного тока № 2.

Применение ЧДЗБ позволяет надежно защитить оборудование блока при отсутствии оперативного тока блока при всех возможных распро-

странениях повреждения из-за возникновения следующих КЗ:

на стороне 6 кВ любой из секций с.н. и развитии КЗ, вызывающем понижение напряжения до уровня уставок пусковых органов минимального напряжения 6 кВ;

в трансформаторе системы возбуждения и развитии КЗ, вызвавшем понижение напряжения до уровня уставки пускового органа минимального напряжения 20 кВ;

в генераторе или блочном трансформаторе.

Защита ЧДЗБ выполнена на трех реле типа ДЗТ-11/3.

Выполнен монтаж, проведены наладка и испытания одного из вариантов защиты ЧДЗБ на блоке 300 МВт. В 1998 г. защита ЧДЗБ введена в опытную эксплуатацию. Оперативный ток на защиту подается от аккумуляторной батареи открытого распределительного устройства 330 кВ.

Выводы

1. Для предотвращения повреждения основного электрооборудования и с.н. мощных блоков ТЭС и АЭС при развитиях аварий необходимо

установить резервные защиты блоков генератор-трансформатор, в зону действия которых должны входить также рабочие трансформаторы и сборные шины секций 6 кВ собственных нужд.

2. Предложенный вариант защиты ЧДЗБ, основанный на использовании дифференциальных реле с малым током срабатывания и с блокировкой минимального напряжения, не требует значительных затрат для его реализации в условиях эксплуатации и может быть выполнен персоналом электролабораторий.

3. Предложенная схема защиты ЧДЗБ пригодна для блоков ТЭС и АЭС независимо от наличия выключателя в цепи между генератором и блочным трансформатором.

Список литературы

1. *Правила устройства электроустановок*. М.: Энергоатомиздат, 1986.
2. *Зильберман В. А., Шейнкман А. Г.* О выполнении ближнего резервирования на блоках генератор – трансформатор с выключателями в цепи генераторов. – *Электрические станции*, 1990, № 2.
3. *Вавин В. Н.* Релейная защита блоков турбогенератор – трансформатор. М.: Энергоиздат, 1982.
4. *Реле защиты / Алексеев В. С., Варганов Г. П., Панфилов Б. И., Розенблюм Р. З.* М.: Энергия, 1976.

ТРУБЫ

на одном складе в Москве

БЕСШОВНЫЕ

по ГОСТам 8732-78 8734-75
ТУ 14-3-190, ТУ 14-3-460

Наше спец. предложение

ГОСТ 8732-78: Д=32x3, 38x3, 42x4, 45x3,
48x4-6, 50x5, 60x5, 68x4...

<p>Система скидок</p> <p style="font-size: 1.5em; font-weight: bold; text-align: center;">095</p> <p>Отгрузка труб по фактическому весу</p>	<p style="font-weight: bold; text-align: center;">737-80-91</p> <p style="font-weight: bold; text-align: center;">737-53-79</p> <p style="font-weight: bold; text-align: center;">785-22-17(19)</p> <p style="font-weight: bold; text-align: center;">785-00-80(81)</p> <p style="font-weight: bold; text-align: center;">730-37-29(31)</p>
--	---

ХимМаш

www.ximmas.ru

Официальный дилер
Иркутский
Трубопромышленный завод