

В редакцию поступают вопросы от читателей с предложениями осветить подробнее ту или иную проблему, с которой они сталкиваются в своей повседневной деятельности.

Одной из тем, подсказанной читателями, является дальнейшее резервирование присоединений ГРУ-10 кВ.

Ниже публикуются статьи специалистов ведущих отечественных производителей устройств РЗА – ООО НПП «ЭКРА» и ООО «ИЦ «Бреслер», которые освещают эту тематику.

Редакция журнала

#### Авторы:

к.т.н. Доронин А.В.,

Нехасва Л.О.,

Пашковская Е.В.,

ООО НПП «ЭКРА»,

г. Чебоксары, Россия.

## ОЦЕНКА ДАЛЬНЕГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ В СЕТЯХ ГЕНЕРАТОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

*Аннотация: проанализированы варианты выполнения резервных защит шин генераторных распределительных устройств (ГРУ) электростанций. Рассмотрен пример расчета дальнего резервирования второй ступени защиты шин ГРУ. Предложено мероприятие для повышения чувствительности резервной защиты шин ГРУ.*

*Ключевые слова: дальнейшее резервирование, распределительное устройство генераторного напряжения, реактор, чувствительность защиты, тепловые электростанции.*



Доронин

Александр Викторович

Дата рождения: 07.02.1976 г.

В 1998 г. окончил Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова (ЧГУ).

В 2013 г. защитил кандидатскую диссертацию в Томском политехническом университете по теме «Совершенствование защиты от замыканий на землю в обмотке статора генератора, работающего в блоке с реактивной отпайкой».

В настоящее время – заведующий сектором ООО НПП «ЭКРА».

В сетях генераторного напряжения для ограничения значительных токов короткого замыкания (КЗ) применяются реакторы между секциями шин напряжения 6-10 кВ и в цепях присоединений, питающих нагрузки. Из-за уменьшения токов КЗ возникают проблемы с обеспечением чувствительности резервных защит при отказе основных защит либо выключателей присоединений. В настоящей статье на примере схемы ТЭЦ (рис.1) рассматриваются возможные решения по улучшению дальнего резервирования при повреждении в сети генераторного напряжения.

### Анализ чувствительности различных способов дальнего резервирования

Первичная схема ТЭЦ выполняется с секционированными шинами генераторного распределительного устройства (ГРУ) 6-10 кВ. К шинам ГРУ подключены генераторы и трансформаторы связи с системой 110 кВ. Связь секций между собой выполнена с помощью секционных выключателей и реакторов. Имеются трансформаторы собственных нужд (ТСН). Рабочие ТСН подключены к шинам ГРУ, резервный ТСН может быть подключен по одному из ва-

риантов: к секции шин, ко второй системе шин ГРУ, к ответвлению от трансформатора связи на НН или к отдельному источнику, например, к блоку генератор-трансформатор. Выключатель на стороне ВН всех ТСН выбирается по условию отключения максимального тока КЗ в этой цепи. На линиях питания нагрузки 10 кВ выключатели предназначены для отключения токов КЗ, ограниченных реактором, и установлены, как правило, после реактора.

При напряжении ГРУ 6 кВ питание нагрузки собственных нужд осуществляется от рабочих и резервных реактированных линий.

Рассматриваются нормальный режим работы станции по полной схеме и минимальные режимы с отключением некоторых питающих элементов шин ГРУ.

В общем случае функции дальнего резервирования при КЗ на присоединениях, питаемых от шин ГРУ, выполняют резервные защиты источников (генераторов, трансформаторов связи и секционных реакторов), а также неполная дифференциальная защита шин ГРУ — при КЗ в сети.



Согласно ПУЭ (п. 3.2.125) [1], на электростанциях с генераторами мощностью 12 МВт и менее допускается не устанавливать специальную защиту шин ГРУ, при этом ликвидация КЗ на шинах должна осуществляться действием максимальных токовых защит генераторов.

В Руководящих указаниях по релейной защите [2] в Приложении III представлен интересный материал с результатами расчетов по определению зон резервирования защитами генератора при повреждениях за трансформатором или реактором в максимальном и минимальном режимах. Из материалов видно, что резервирование обеспечивается при определенных соотношениях параметров присоединений.

Согласно ПУЭ (п. 3.2.124), на секционированных шинах ГРУ электростанций должна быть установлена двухступенчатая неполная дифференциальная защита шин. Защита предусматривается для каждой секции. По токовым цепям защита должна подключаться на сумму токов трансформаторов тока (ТТ) в цепях генераторов, трансформаторов связи, секционных реакторов и ТСН, подключенных к секции. Первая ступень предназначена для действия при КЗ на шинах ГРУ и часто выполняется отсечкой по току и напряжению. Ступень отстроена от внешних КЗ, в том числе КЗ за линейным реактором. В зону действия первой ступени кроме шин частично попадает сопротивление линейного реактора. Защита действует на отключение питающих выключателей секции и выключателя СН. Вторая ступень предусматривается для резервирования первой ступени, для защиты линейных реакторов (и реакторов линий питания СН), а также для дальнего резервирования при повреждениях в питаемой сети генераторного напряжения. Включенная по токовым цепям вместе с первой ступенью, вторая ступень по параметрам срабатывания отстраивается от режима максимальной суммарной нагрузки реактированных линий,

подключенных к защищаемой секции шин ГРУ. При этом ступень может оказаться нечувствительной к КЗ за линейным реактором. В этом случае возможно улучшение защиты с помощью вариантов, предлагаемых в [3]. Однако согласно современным указаниям ПУЭ, следует применять поэлементную токовую защиту. Для ее выполнения токовые измерительные органы (ИО) должны предусматриваться для каждого линейного реактора и реактора СН. ИО подключаются к ТТ, устанавливаемым в зоне между шинами ГРУ и реактором. В этом случае ток срабатывания каждого поэлементного ИО должен выбираться по условию отстройки от тока самозапуска нагрузки защищаемой линии. При необходимости для повышения чувствительности поэлементные ИО могут дополняться пуском по напряжению от трансформатора напряжения, предусмотренного за реактором. Защита имеет общее реле времени для всех ИО, а также устройство контроля исправности и действует на отключение всех питающих выключателей секции и выключателя СН. Таким образом, поэлементная защита выполняет функцию защиты реактора и функцию дальнего резервирования защит линий, подключенных к реактору.

Для ТСН, подключенному к шинам

ГРУ, выполняется ближнее резервирование защит с помощью установки резервной максимальной токовой защиты (МТЗ) ТСН. При КЗ в ТСН с отказом выключателя 10 кВ резервные защиты питающих присоединений могут не охватить всю зону ТСН. По опыту проектирования известно, что устройства УРОВ на напряжении 6-10 кВ применяются, особенно при выполнении защит с помощью микропроцессорных устройств. Как частное решение, можно рассмотреть выполнение резервной защиты ТСН с несколькими выдержками времени и действием со второй выдержкой времени на деление секций или отключение всех питающих присоединений секции шин через выходные промежуточные реле защиты шин 10 кВ. Для резервного ТСН может быть принято аналогичное решение с действием резервной защиты со второй выдержкой времени на отключение вышестоящих выключателей питающих источников.

**Пример расчета дальнего резервирования второй ступени защиты шин ГРУ**

1. Исходные данные.

Рассматривается защита I секции шин ГРУ 10 кВ ТЭЦ, электрическая схема которой приведена на рис. 1. Защиты выполнены

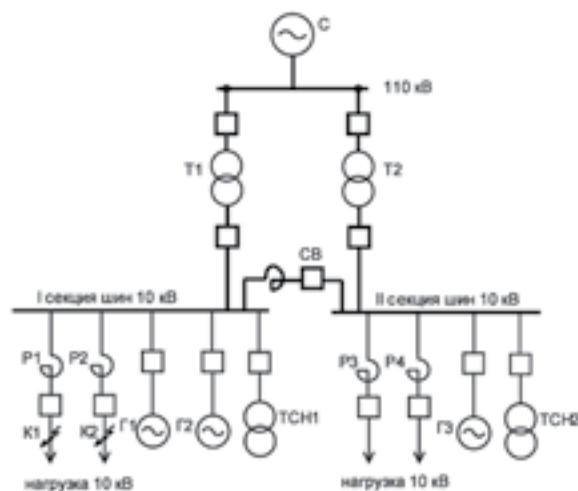


Рис. 1. Схема распределительного устройства ТЭЦ

на электромеханических реле.

Параметры присоединений [4]:

Система:  $S_c \rightarrow \infty, x_c = 0$ .

Трансформатор связи Т1:

$S_{ном} - 25 \text{ МВА};$

$U_{ном} - 115/10,5 \text{ кВ};$

$u_k = 10,5 \text{ \%}.$

Реакторы:

P1 РБ10-600;  $x_{p1} = 0,577 \text{ Ом};$

P2 РБ10-1000;  $x_{p2} = 0,46 \text{ Ом}.$

Нагрузка I секции:

$I_{нагр} = 3 \text{ кА}; I_{нагр доп} = 2 \text{ кА}.$

Генераторы:

Г1: Т2-6-2У3

$P_{ном} = 6 \text{ МВт}, \cos \varphi_{ном} = 0,8;$

$U_{ном} = 10,5 \text{ кВ};$

$x_d'' = 0,130; x_d = 1,65; I_{6,нр} = 350 \text{ А}; I_{6,хх} = 107 \text{ А}.$

Г2: Т2-25-2

$P_{ном} = 25 \text{ МВт}, \cos \varphi_{ном} = 0,8;$

$U_{ном} = 10,5 \text{ кВ};$

$x_d'' = 0,131; x_d = 2,126; I_{6,нр} = 620 \text{ А}; I_{6,хх} = 152 \text{ А}.$

2. Определение параметров второй

ступени неполной дифференциальной защиты шин, выполненной в виде максимальной токовой защиты МТЗ.

2.1. Ток срабатывания выбирается по следующим условиям [3, 5]:

а) Для обеспечения возврата защиты после отключения КЗ за линейным реактором на одном из присоединений в режиме работы секции с повышенной нагрузкой принимается

$$I_{сз, расч} = \frac{\kappa_n \cdot \kappa_{нагр}}{\kappa_6} (I_{нагр} + I_{нагр. доп}), \quad (1)$$

где  $\kappa_n = 1,2$  – коэффициент надежности;  $\kappa_{нагр} = 1,2$  – коэффициент, учитывающий увеличение тока нагрузки после отключения КЗ с выдержкой времени.  $\kappa_6 = 0,85$  – коэффициент возврата реле.

б) Для отстройки от тока в защите в максимальном режиме с набросом нагрузки на секцию в результате АВР приемных подстанций принимается

$$I_{сз, расч} = \frac{\kappa_n}{\kappa_6} (I_{нагр} + \kappa_{сам.з} \cdot I_{нагр. доп}), \quad (2)$$

где  $\kappa_{сам.з}$  – коэффициент самозапуска, уточняется в конкретных условиях.

2.2. Выдержка времени выбирается по условию согласования с защитами присоединений реактированных линий.

2.3. Расчет МТЗ второй ступени защиты шин ГРУ 10 кВ.

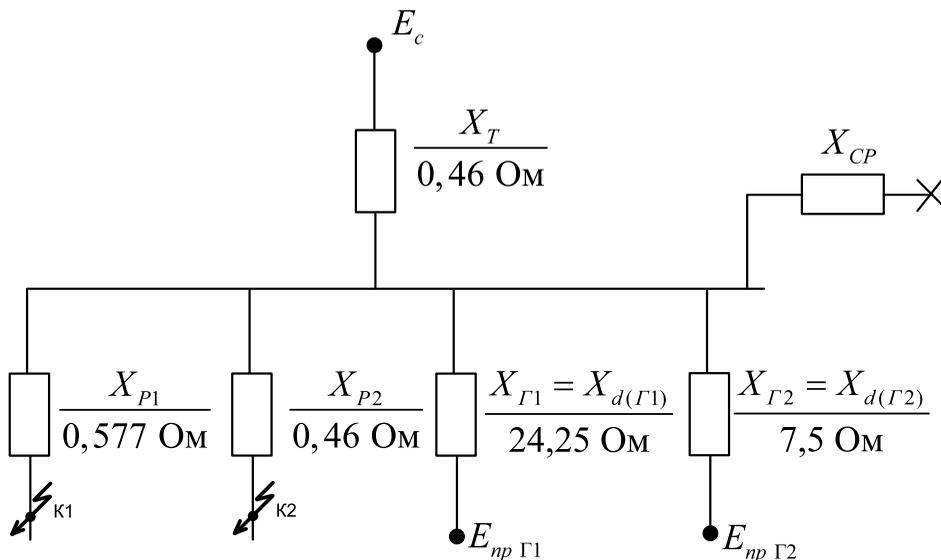


Рис. 2. Расчетная схема

По условию (1) при  $I_{нагр} = 3 \text{ кА}, I_{нагр. доп} = 2 \text{ кА}:$

$$I_{сз, расч} = \frac{1,2 \cdot 1,2}{0,85} (3 + 2) = 8,5 \text{ кА}.$$

По условию (2):

$$I_{сз, расч} = \frac{1,2}{0,85} (3 + 3 \cdot 2) = 12,7 \text{ кА}.$$

Принимается  $I_{сз} = 12,7 \text{ кА}.$

2.4. Предварительная проверка  $\kappa_{ч}$  при КЗ за реактором в максимальном режиме:

$$I_{кз к1}^{(2)} = \frac{U_{ном}}{2 \cdot x_{p1}} = \frac{10,5}{2 \cdot 0,577} = 9,1 \text{ кА};$$

$$I_{кз к2}^{(2)} = \frac{U_{ном}}{2 \cdot x_{p2}} = \frac{10,5}{2 \cdot 0,46} = 11,4 \text{ кА}.$$

$$\kappa_{ч, расч} < \kappa_{доп}.$$

Из расчетов видно, что при выполнении второй ступени неполной дифференциальной защиты шин в виде МТЗ не обеспечивается отключение КЗ за линейным реактором и в сети 10 кВ.

3. Рассматривается возможность выполнения поэлементной максимальной токовой защиты шин (ПМТЗ).

3.1. Ток срабатывания токового измерительного органа ПМТЗ выбирается по условию отстройки от тока самоза-

пуска при максимальной нагрузке реактированной линии:

$$I_{сз} = \frac{\kappa_n}{\kappa_6} \cdot \kappa_{сам.з} \cdot I_{ном}.$$

Для линии P1:

$$I_{сз p1} = \frac{1,2}{0,85} \cdot 3 \cdot 0,6 = 2,5 \text{ кА}.$$

Для линии P2:

$$I_{сз p2} = \frac{1,2}{0,85} \cdot 3 \cdot 1 = 4,2 \text{ кА}.$$

3.2. Проверка  $\kappa_{ч}$  выполняется при КЗ за реактором в минимальном режиме (при отключении секционного выключателя) в установившемся режиме.

При КЗ за реактором P1:

$$\kappa_{ч} = \frac{I_{кз к1}^{(2)}}{I_{сз p1}} = \frac{6,35}{2,5} = 2,5 > \kappa_{2 доп} = 1,5,$$

где  $I_{кз к1}^{(2)}$  – ток КЗ в минимальном режиме (см. п. 4).

При КЗ за реактором P2:

$$\kappa_{ч} = \frac{I_{кз к2}^{(2)}}{I_{сз p2}} = \frac{7,22}{4,2} = 1,7 > \kappa_{2 доп} = 1,5,$$

где  $I_{кз к2}^{(2)}$  (см. п. 4).

3.3. Таким образом установлено, что с помощью поэлементной МТЗ в рассмотренной схеме обеспечивается



Табл.



**Нехаева**

**Людмила Олимповна**

Дата рождения: 29.08.1940 г.

В 1964 г. окончила

Московский энергетический

институт по специальности

«Автоматизация произ-

водственных процессов

и установок в энергетической промышленности».

В настоящее время — глав-

ный специалист сектора

проектирования отдела РЗА

станционного оборудования

ООО НПП «ЭКРА».



**Пашковская**

**Екатерина Викторовна**

Дата рождения: 21.09.1990 г.

В 2012 г. окончила Чувашский

государственный универси-

тет им. И.Н. Ульянова по

специальности «Электро-

снабжение промышленных

предприятий».

В настоящее время — инже-

нер отдела разработки РЗА

станционного оборудования

ООО НПП «ЭКРА».

$x_{\text{ЭКВ}}$	$x_{\Gamma}, x_{\Gamma-1}, x_{\Gamma-2}$	Ом	0,42
$E_{\text{ЭКВ}}$	$E_c, E_{\text{пр}} \Gamma_1, E_{\text{пр}} \Gamma_2,$	о.е.	1,2
$x_{\text{КЗ К1}}$	$x_{\text{ЭКВ}} + x_{\text{р1}}$	Ом	0,997
$x_{\text{КЗ К2}}$	$x_{\text{ЭКВ}} + x_{\text{р2}}$	Ом	0,88
$I_{\text{КЗ К1}}^{(2)}$	$\frac{E_{\text{ЭКВ}}}{2 \cdot x_{\text{КЗ К1}}}$	кА	6,35
$I_{\text{КЗ К2}}^{(2)}$	$\frac{E_{\text{ЭКВ}}}{2 \cdot x_{\text{КЗ К2}}}$	кА	7,22

защита реактированной линии и выполняется резервирование защит сети 10 кВ.

4. Расчет установившегося тока КЗ за линейным реактором.

Генератор Г1:

$$x_d'' = x_{d(о.е.)}'' \cdot \frac{U_{НОМ}^2}{S_{НОМ}} = 0,13 \cdot \frac{10,5^2}{7,5} = 1,91 \text{ Ом};$$

$$x_d = x_{d(о.е.)} \cdot \frac{U_{НОМ}^2}{S_{НОМ}} = 1,65 \cdot \frac{10,5^2}{7,5} = 24,25 \text{ Ом};$$

$$E_{\text{пр}} = \frac{I_{в.пред}}{I_{в.хх}} = \frac{350}{107} = 3,1;$$

$$x_{крит} = \frac{U_{НОМ} \cdot x_d}{E_{пред} - U_{НОМ}} = \frac{1 \cdot 24,25}{3,1 - 1} = 11,55 \text{ Ом}.$$

Генератор Г2:

$$x_d'' = x_{d(о.е.)}'' \cdot \frac{U_{НОМ}^2}{S_{НОМ}} = 0,131 \cdot \frac{10,5^2}{31,25} = 0,46 \text{ Ом};$$

$$x_d = x_{d(о.е.)} \cdot \frac{U_{НОМ}^2}{S_{НОМ}} = 2,126 \cdot \frac{10,5^2}{31,25} = 7,5 \text{ Ом};$$

$$E_{\text{пр}} = \frac{I_{в.пред}}{I_{в.хх}} = \frac{620}{152} = 4,08;$$

$$x_{крит} = \frac{U_{НОМ} \cdot x_d}{E_{пред} - U_{НОМ}} = \frac{1 \cdot 7,5}{4,08 - 1} = 2,44 \text{ Ом}.$$

Результаты расчетов сведены в таблицу.

### Выводы

1. Для детальной проверки успешности дальнего резервирования на действующей станции необходимо выполнить для конкретной первичной схемы серию расчетов токов КЗ в расчетных точках в максимальном и минимальном режимах. Далее производится оценка действия предусмотренных резервных защит при дальнем резервировании и при необходимости принимаются мероприятия по улучшению схем по вариантам, рассмотренным выше в п.п. 2 и 3.

2. Следует отметить, что на ТЭЦ с ГРУ применение современных микропроцессорных устройств значительно улучшит качество защиты и условия эксплуатации. Наличие в терминалах нескольких групп уставок и ступеней позволяет подстроить системы РЗА под разные режимы (в том числе при длительном отключении источника секции). Не менее актуальна возможность уточнения переходных параметров нагрузки с помощью осциллографирования.

### Литература

1. Правила устройства электроустановок: Все действующие разделы ПУЭ-6, ПУЭ-7. — Новосибирск: Сиб. ун-в. изд-во. — 2008. — 464 с.
2. Руководящие указания по релейной защите, выпуск №1. Защита генераторов, работающих на сборные шины. — 1961. — 68 с., ил.
3. Руководящие указания по релейной защите, выпуск № 3. Защита шин 6-220 кВ станций и подстанций. — 1961. — 72 с., ил.
4. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учебное пособие для вузов — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат. — 1989. — 608 с., ил.
5. Байтер И.И., Богданова Н.А. Защита шин 6-10 кВ. Библиотека электромонтера, 1984. — 88 с., ил.