ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ
ЛЕНЭНЕРГО
196247, Санкт-Петербург, площадь Конституции, 1

# ПРИКАЗ

25.06.2013 № 334

О введении в действие СТО 18-2013 «Руководящие указания по выбору режима заземления нейтрали в электрических сетях напряжением 6-35 кВ»

В рамках реализации договора НИР от 09.02.2012г. № 511-02-8-12/12-1947 и выполнения решения НТС ОАО «Ленэнерго» от 26.03.2013г. № 2,

ПРИКАЗЫВАЮ:

1. Ввести в действие стандарт организации ОАО «Ленэнерго» СТО 18-2013 «Руководящие указания по выбору режима заземления нейтрали в электрических сетях напряжением 6-35 кВ» (далее – Стандарт) согласно Приложению № 1.

2. Директорам филиалов ОАО «Ленэнерго», заместителю генерального директора по техническим вопросам – главному инженеру:

2.1. Руководствоваться данным Стандартом при выборе режима заземления нейтрали городских кабельных распределительных сетей напряжением 6, 10 и 35 кВ ОАО «Ленэнерго», выборе технических средств по регулированию режима заземления нейтрали сети и обосновании основных параметров технических средств.

2.2. Использовать Стандарт при проектировании новых электроустановок, а также при проведении реконструкции и модернизации действующих систем электроснабжения.

2.3. Распространить действие Стандарта на все объекты электроснабжения городских кабельных распределительных сетей ОАО «Ленэнерго», в число которых входят питающие и распределительные сети, распределительные устройства напряжением 6, 10 и 35 кВ, а также распределительные сети 6, 10 и 35 кВ, принадлежащие сторонним производственным и энергетическим организациям, имеющие общие с сетями ОАО «Ленэнерго» границы балансовой принадлежности.

3. Контроль исполнения настоящего приказа возлагаю на заместителя генерального директора по техническим вопросам – главного инженера Артемьева М.С.

Генеральный директор А.В. Сорочинский

gost.e-ecolog.ru

Приложение к приказу
ОАО «Ленэнерго»
от 25.06.2013 г. № 334

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО ЭНЕРГЕТИКИ
И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ «ЛЕНЭНЕРГО»

**СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ**
**ОАО «ЛЕНЭНЕРГО»**

**СТО 18-2013**

# Руководящие указания по выбору режима заземления нейтрали в электрических сетях напряжением 6-35 кВ

*Редакция 1*

Санкт–Петербург
2013

## Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения стандарта организации – ГОСТ Р.1.4-2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения».

### Сведения о стандарте

1 РАЗРАБОТАН ОАО «НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ» (ОАО «НТЦ ЕЭС»).

2 УТВЕРЖДЁН И ВВЕДЁН В ДЕЙСТВИЕ приказом ОАО «Ленэнерго» от 25.06.2013 г. №334.

3 ВВЕДЁН ВПЕРВЫЕ.

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведён, тиражирован и распространён в качестве официального издания без разрешения ОАО «Ленэнерго»

# Содержание

1 Назначение и область применения ..... 4
2 Нормативные ссылки ..... 5
3 Термины и определения ..... 6
4 Обозначения и сокращения ..... 8
5 Общие положения ..... 9
6 Механизм возникновения дуговых перенапряжений ..... 11
7 Городские кабельные распределительные сети 6 и 10 кВ ..... 12
7.1 Высокоомное резистивное заземление нейтрали сети 6 и 10 кВ ..... 12
7.2 Низкоомное резистивное заземление нейтрали сети 6 и 10 кВ ..... 14
7.3 Заземление нейтрали сети 6 и 10 кВ через дугогасящий реактор ..... 18
7.4 Комбинированное заземление нейтрали сети 6 и 10 кВ ..... 19
7.5 Рекомендуемые режимы заземление нейтрали сетей напряжением 6 и 10 кВ ..... 22
8 Кабельные распределительные сети 35 кВ ..... 24
8.1 Общие положения ..... 24
8.2 Выбор сопротивления резистора при низкоомном заземления нейтрали ..... 26
8.3 Способы подключения резисторов в нейтраль сети 35 кВ. Выбор трансформаторов заземления нейтрали ..... 27
Библиография ..... 30
Приложение А ..... 32
Рекомендации по настройке устройств релейной защиты и автоматики от ОЗЗ в сетях 6-35 кВ ..... 32
Приложение Б ..... 39
Особенности выбора мощности трансформатора заземления нейтрали и расчет фактического тока в нейтрали для подключения низкоомного резистора ..... 39
Приложение В ..... 42
Методики расчета уставок токовых защит нулевой последовательности и настройки устройств РЗиА в сетях с резистивным заземлением нейтрали ..... 42
Приложение Г ..... 56
Технические характеристики высоковольтных резисторов для заземления нейтрали ..... 56
Лист ознакомления ..... 76

## 1 Назначение и область применения

1.1 Настоящий Стандарт определяет состояние нейтрали городских кабельных распределительных сетей напряжением 6, 10 и 35 кВ (далее – сети 6, 10 и 35 кВ) ОАО «Ленэнерго», выбор технических средств по регулированию режима заземления нейтрали сети и обоснование основных параметров технических средств.

1.2 Настоящий Стандарт предназначен для использования при проектировании новых электроустановок, а также при проведении реконструкции и модернизации действующих систем электроснабжения.

1.3 Действие настоящего Стандарта распространяется на все объекты электроснабжения городских кабельных распределительных сетей ОАО «Ленэнерго», в число которых входят питающие и распределительные сети, распределительные устройства напряжением 6, 10 и 35 кВ, а также распределительные сети 6, 10 и 35 кВ, принадлежащие сторонним производственным и энергетическим организациям, имеющие общие с сетями ОАО «Ленэнерго» границы балансовой принадлежности.

1.4 При электроснабжении объектов городской кабельной распределительной сети ОАО «Ленэнерго» от сетей 6, 10 и 35 кВ сторонних энергетических компаний, реализация режимов заземления нейтрали сетей и использование соответствующих технических средств для осуществления этих режимов, предусмотренных нормами настоящего Стандарта, должны быть согласованы с соответствующими службами предприятий энергосистем.

1.5 Положения настоящего Стандарта являются обязательными для всех производственных организаций, имеющих общие с сетями ОАО «Ленэнерго» границы балансовой принадлежности, и организаций, осуществляющих проектирование, строительство, реконструкцию и эксплуатацию объектов электроснабжения ОАО «Ленэнерго».

## 2 Нормативные ссылки

В тексте настоящего Стандарта использованы ссылки на следующие нормативные документы:

– СО 153-34.20.120-2003 Правила устройства электроустановок 7-е издание. (Приказ Минэнерго РФ от 30.06.2003 №264)

## 3 Термины и определения

В тексте настоящего Стандарта использованы термины и их определения, соответствующие стандарту ГОСТ 24291–90, других нормативных документов, а именно:

**бестоковая пауза –** интервал времени, при дуговом замыкании, между моментом погасания дуги и ее повторным зажиганием;

**высокоомное резистивное заземление нейтрали сети –** преднамеренное электрическое соединение нейтрали сети с заземляющим устройством через высокоомный резистор, который создает активный ток с целью обеспечения длительной работы сети с однофазным замыканием на землю (на время поиска и отключения поврежденного присоединения оперативным персоналом) без перенапряжений и феррорезонансных явлений;

Примечание – заземляющий трансформатор и резистор должны быть рассчитаны на длительный режим работы.

**дуговое перенапряжение –** перенапряжение, возникающее в сети при неустойчивом (перемежающемся) горении дуги в месте повреждения;

**дуговое замыкание на землю –** замыкание на землю, сопровождающееся неустойчивым горением дуги в месте повреждения;

**заземление нейтрали сети через дугогасящий реактор –** преднамеренное электрическое соединение нейтрали сети с заземляющим устройством через дугогасящий реактор, который создает индуктивный ток с целью компенсации емкостного тока в месте однофазного замыкания на землю («компенсированная нейтраль»);

Примечание – Применение дугогасящего реактора осуществляется при превышении током однофазного замыкания на землю значений, нормируемых ПУЭ.

**компенсация тока однофазного замыкания на землю –** компенсация емкостной составляющей тока однофазного замыкания на землю за счет подключения к нейтрали дугогасящего реактора;

**направленная токовая защита от однофазных замыканий на землю** – защита, реагирующая на ток и напряжение нулевой последовательности, а также электрический угол между ними. Защита подключается к фильтру токов и фильтру напряжения нулевой последовательности;

**ненаправленная токовая защита от однофазных замыканий на землю** – защита, реагирующая на ток нулевой последовательности. Защита подключается к фильтру токов нулевой последовательности;

**низкоомное резистивное заземление нейтрали сети** – преднамеренное электрическое соединение нейтрали сети с заземляющим устройством через низкоомный резистор, который создает активный ток с целью ограничения дуговых перенапряжений, быстрого и селективного отключения однофазного замыкания на землю и максимального охвата обмоток трансформаторов защитой от однофазного замыкания на землю;

Примечание – заземляющий трансформатор и резистор выбираются для кратковременного режима работы.

**питающая линия** – линия, питающая распределительный пункт от центра питания;

**перемежающаяся дуга** – дуга, имеющая неустойчивый характер горения, сопровождающийся многократными зажиганием и гашением;

**распределительная линия** – линия, питающая ряд трансформаторных подстанций от центра питания или распределительного пункта;

**режим заземления нейтрали сети** – способ устройства нейтрали сети, при котором нейтраль либо изолирована, либо в нее включено дополнительное оборудование: реактор, резистор или их комбинация, изменяющее величину тока однофазного замыкания на землю;

**резистивное заземление нейтрали сети** – преднамеренное электрическое соединение нейтрали генератора или специального заземляющего трансформатора с заземляющим устройством через активное

сопротивление с целью подавления дуговых перенапряжений и феррорезонансных явлений при однофазном замыкании на землю;

**резонансное заземление нейтрали** – заземление нейтрали, при котором индуктивный ток дугогасящего реактора равен емкостному току сети;

**феррорезонансные явления** – перенапряжения и сверхтоки в обмотках трансформаторов напряжения (ТН), возникающие в результате насыщения стали ТН и резонансных явлений.

## 4 Обозначения и сокращения

АВР – автоматический ввод резерва
АПВ – автоматическое повторное включение
ВЛ – воздушные линии
ВН – высшее напряжение
ДГР – дугогасящий реактор
ЗРУ – закрытое распределительное устройство
К – Контактор
КЛ – кабельные линии
МТЗ – максимальная токовая защита
ОЗЗ – однофазное замыкание (дуговое или «металлическое»)
ОПН – нелинейный ограничитель перенапряжений
ТЗН – трансформатор для заземления нейтрали
ТТНП – трансформатор тока нулевой последовательности
ФНП – фильтр нулевой последовательности
ШР – шунтирующий низковольтный резистор

## 5 Общие положения

5.1 Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) [1] установлен режим эксплуатации электрических сетей напряжением 6, 10 и 35 кВ с изолированной нейтралью, с нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор, или с нейтралью, заземленной через резистор.

5.2 Наиболее распространенный вид повреждений в таких сетях – однофазные замыкания на землю, сопровождающиеся перемежающейся дугой и составляющие более 70 %. Возникающие при этом дуговые перенапряжения кратностью до $(3 \div 4) \cdot U_{\Phi}$ и более опасны для электрооборудования и, в первую очередь, для кабелей и трансформаторов напряжения [2,3,5-7].

5.3 В настоящее время в системах электроснабжения жилых зданий города, крупных промышленных объектов и социально-культурных учреждений кабельные сети напряжением 6, 10 и 35 кВ работают в основном с изолированной и компенсированной нейтралью. Релейная защита от однофазных замыканий на землю в таких сетях в основном не способна селективно обнаружить и (или) отключить аварийное присоединение и выполняется с действием на сигнал. При этом вся сеть на время поиска повреждения длительно находится под воздействием дуговых перенапряжений. Поиск поврежденного присоединения требует значительных затрат времени, людских и материальных ресурсов. Предельно высока вероятность дальнейшего развития аварии в виде двойных замыканий на землю, что приводит к отключению нескольких присоединений и к существенному недоотпуску электроэнергии потребителям.

5.4 В настоящее время в России отказ от режима изолированной нейтрали в сетях напряжением 6, 10 и 35 кВ находит все большее признание. Применение резистивного заземления нейтрали позволяет избавиться от опасных перенапряжений, повышает быстродействие и селективность релейной защиты и увеличивает показатели надежности электроснабжения потребителей. Промышленностью предлагаются новые комплектные

устройства для высокоомного или низкоомного резистивного заземления нейтрали. В этой связи возникает необходимость разработки руководящего документа, определяющего режим заземления нейтрали в распределительных сетях напряжением 6, 10 и 35 кВ ОАО «Ленэнерго».

5.5 Разработанный Стандарт не отменяет действие норм ПУЭ, однако, в части выбора режима заземления нейтрали городских кабельных распределительных сетей различного назначения, структуры и параметров оборудования для регулирования режима заземления нейтрали, являются уточняющим документом.

5.6 Рекомендации по определению режима заземления нейтрали городских кабельных распределительных сетей напряжением 6 и 10 кВ ОАО «Ленэнерго», а также выбору технических средств по регулированию режима заземления нейтрали сети 6 и 10 кВ и обоснованию основных параметров технических средств приведены в Разделе 7.

5.7 Рекомендации по определению режима заземления нейтрали распределительных кабельных сетей напряжением 35 кВ ОАО «Ленэнерго», а также выбору технических средств по регулированию режима заземления нейтрали сети 35 кВ и обоснованию основных параметров технических средств приведены в Разделе 8.

5.8 Рекомендации по настройке устройств релейной защиты и автоматики от ОЗЗ в сетях 6-35 кВ, методики расчета уставок токовых защит нулевой последовательности и настройки устройств РЗиА в сетях с резистивным заземлением нейтрали, особенности выбора мощности трансформатора заземления нейтрали и расчета фактического тока в цепи нейтрали для подключения низкоомного резистора, а также технические характеристики высоковольтных резисторов для заземления нейтрали приведены в приложениях к Стандарту.

## 6 Механизм возникновения дуговых перенапряжений

6.1 Возникновение дуговых перенапряжений наиболее вероятно при перемежающейся дуге и при сравнительно небольших токах ОЗЗ, как правило, не превышающих 10 А. Значение амплитуды перенапряжений при этом может достигать 3,5-3,8 фазного напряжения $U_{ф}$.

6.2 Параметры переходного процесса при возникновении однофазного дугового замыкания в сети с изолированной и заземленной нейтралью через ДГР определяются емкостью фаз на землю, индуктивными сопротивлениями источника питания, параметрами ДГР, а также сопротивлением дуги.

6.3 Основными факторами, определяющими максимум перенапряжений при ОЗЗ, являются: мгновенное значение напряжения на аварийной фазе в момент первичного зажигания дуги, момент погасания дуги и напряжение повторного зажигания дуги.

6.4 Повышение перенапряжений при дуговом замыкании на землю обусловлено тем, что вторичный пробой происходит при ненулевом значении напряжения на нейтрали сети, которое зависит от условий гашения дуги после первого пробоя и составляет $(0,5\text{-}1,4)\cdot U_{ф}$. Максимальные величины перенапряжений возникают, если наблюдается погасание дуги при первых переходах через нулевое значение свободной составляющей тока дуги. При быстром погасании дуги происходит заряд емкостей неповрежденных фаз до напряжения, превышающего фазное, и появляется напряжение на нейтрали. Последующие зажигания дуги в момент максимума напряжения аварийной фазы приводят к поэтапному нарастанию напряжения (эскалации напряжения) на нейтрали и к перенапряжениям на неповрежденных фазах.

6.5 Эскалация перенапряжений и увеличение напряжения повторных пробоев происходит при быстром восстановлении электрической прочности после погасания дуги.

6.6 Для изоляции кабелей и трансформаторов кратковременное увеличение электрической прочности характерно в начальной стадии процесса

за счет выдувания дуги из узкого канала в поврежденной изоляции с последующим понижением напряжения пробоя при выгорании изоляции в месте повреждения.

6.7 На длительность горения дуги и условия ее гашения оказывают существенное влияние переходное сопротивление в месте горения дуги, вид диэлектрика, непосредственно контактирующего с дуговым каналом, интенсивность ее охлаждения, давление в зоне горения дуги, возможность ее растяжения и др.

## 7 Городские кабельные распределительные сети 6 и 10 кВ

### 7.1 Высокоомное резистивное заземление нейтрали сети 6 и 10 кВ

7.1.1 Главной целью высокоомного резистивного заземления нейтрали сети является ограничение дуговых перенапряжений и феррорезонансных явлений (в основном в трансформаторах напряжения – ТН) при одновременном обеспечении длительной работы сети с ОЗЗ на время поиска и отключения поврежденного присоединения оперативным персоналом.

7.1.2 Снижение напряжения на нейтрали и ограничение перенапряжений при дуговом замыкании на землю достигается за счет уменьшения постоянной времени разряда емкостей здоровых фаз во время бестоковой паузы $t_{П}$ с помощью специально установленного резистора $R_N$ (рисунок 7.1), обеспечивающего уменьшение активного сопротивления цепи протекания тока нулевой последовательности.

7.1.3 Резистор $R_N$ может быть подключен к сети двумя способами:

Первый способ – с помощью трансформатора со схемой соединения обмоток Y0/Δ. Резистор включается между нулевой точкой обмотки высокого напряжения ТЗН и контуром заземления (рисунок 7.1а).

Второй способ – с помощью специального фильтра нулевой последовательности (ФНП), который представляет собой трехфазный

трансформатор, не имеющий низковольтной вторичной обмотки. Резистор включается между нулевой точкой обмотки высокого напряжения ФНП и контуром заземления (рисунок 7.1б).

7.1.4 В сетях 6 и 10 кВ предпочтительными являются варианты подключения резистора к нейтрали с помощью специальных фильтров нулевой последовательности. При этом мощность устройств определяется исходя из необходимости длительной работы в режиме однофазного замыкания и обеспечения апериодического процесса разряда емкости фаз в течение бестоковой паузы $t_{П}$.

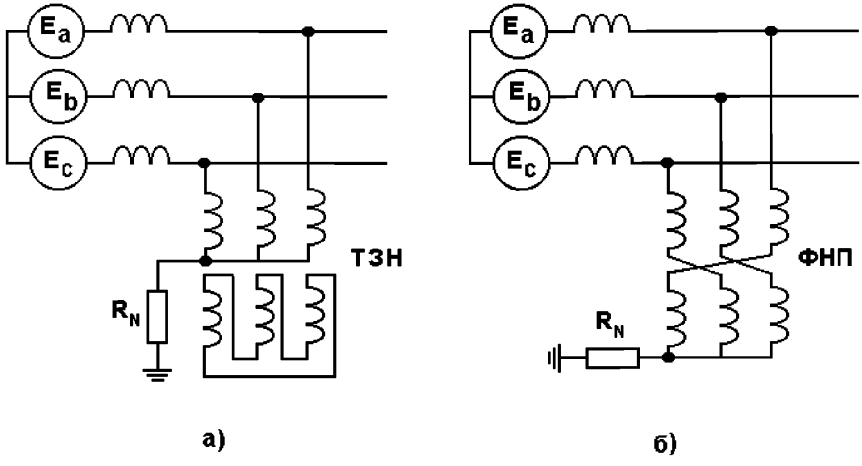



**Рисунок 7.1** – Схемы подключения резистора к нейтрали сети

7.1.5 Для обеспечения полного разряда емкостей фаз за время $t_{П}$, равного 0,008 – 0,010 с, сопротивление резистора выбирают из условия, чтобы активная составляющая тока замыкания на землю $I_R$ была равна или больше емкостной составляющей $I_C$

$$I_R \geq I_C \qquad (7.1)$$

Исходя из этого условия, сопротивление резистора для схемы на рисунке 7.1а, $R_N$, Ом, вычисляют по формуле

$$R_N \le \frac{U_{\text{ВН}}}{\sqrt{3} \cdot I_C}, \tag{7.2}$$

где $U_{\text{ВН}}$ – линейное напряжение стороны высшего напряжения трансформатора, В;

$I_C$ – емкостный ток ОЗЗ, А;

7.1.6 Расчетную мощность трансформатора заземления нейтрали и резистора $R_N$, $S$, ВА, вычисляют по формуле

$$S \ge U_{\text{ВН}}^2 / (3 \cdot R_N) \tag{7.3}$$

Значение тока $I_R$, протекающего через резистор при ОЗЗ для схемы на рисунке 7.1а, вычисляют по формуле

$$I_R = \frac{U_{\text{ВН}}}{\sqrt{3} \cdot R_N} \tag{7.4}$$

Ток $I^{(1)}$ в месте ОЗЗ равен геометрической сумме емкостного тока сети и активного тока, создаваемого устройством заземления нейтрали. Значение тока $I^{(1)}$, А, вычисляют по формуле

$$I^{(1)} = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} \tag{7.5}$$

и с учетом формулы (1.1)

$$I^{(1)} \ge \sqrt{2} \cdot I_C \tag{7.6}$$

7.1.7 При увеличении сопротивления резистора по сравнению со значением, вычисленным по формуле (7.2), напряжение на нейтрали за время бестоковой паузы снижается не до нуля, а до конкретной величины, что приводит к увеличению уровня дуговых перенапряжений.

### 7.2 Низкоомное резистивное заземление нейтрали сети 6 и 10 кВ

7.2.1 Главной целью применения низкоомного резистивного заземления нейтрали сети является быстрое и селективное отключение ОЗЗ релейной защитой и максимальный охват обмоток трансформаторов защитой от ОЗЗ

[4,6]. При этом также обеспечивается подавление дуговых перенапряжений и феррорезонансных явлений.

7.2.2 Низкоомное резистивное заземление нейтрали сети осуществляют с помощью специального трансформатора заземления нейтрали ТЗН со схемой соединения обмоток Y/Δ или с помощью специального фильтра нулевой последовательности ФНП, согласно рисунку 7.1. Резистор $R_N$ включают между нулевой точкой обмотки ВН и контуром заземления.

7.2.3 Сопротивление резистора выбирают наименьшим, исходя из двух условий:

1. обеспечение устойчивого горения дуги при ОЗЗ, при котором ток резистора должен превышать емкостный ток ОЗЗ в 2,5÷4,0 раза;
2. обеспечение селективного срабатывания простых токовых защит на отключение ОЗЗ, при котором ток резистора должен превышать максимальный ток срабатывания защиты.

Селективное отключение может быть обеспечено подключением к нейтрали сети резистора с сопротивлением, вычисляемым по формуле

$$R_N \le \frac{U_{\text{ВН}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{С.З. МАКС}}}, \tag{7.7}$$

где $I_{\text{С.З. МАКС}}$ – максимальный ток срабатывания защиты ОЗЗ.

7.2.4 Выбранный из этих условий резистор, как правило, создает активный ток, существенно превышающий емкостный. Если емкостный ток значительно меньше активного $I_C << I_R$, то ток ОЗЗ можно вычислять по формуле

$$I_З \approx I_R = \frac{U_{\text{Н}}}{\sqrt{3} \cdot R_N}, \tag{7.8}$$

где $U_{\text{Н}}$ – линейное напряжение сети.

7.2.5 При ОЗЗ в обмотке, соединенной по схеме звезда, ток ОЗЗ $I_З$, А с учетом (7.8) вычисляют по формуле

$$I_З = \left(1 - \frac{W}{100}\right) \cdot \frac{U_Н}{\sqrt{3} \cdot R_N}, \quad (7.9)$$

где $W$ – число витков обмотки трансформатора от зажимов до точки замыкания в % от общего числа витков поврежденной фазы.

7.2.6 Для обмотки, соединенной треугольником, наименьший ток замыкания на корпус в средней точке обмотки $I_З$, А, вычисляют по формуле

$$I_З = 0{,}5 \frac{U_Н}{\sqrt{3} \cdot R_N}. \quad (7.10)$$

7.2.7 Число витков обмотки трансформатора, защищенной от ОЗЗ $W$, %, вычисляют по формуле

$$W = \left(1 - \frac{I_{СЗ}}{I_R}\right) \cdot 100, \quad (7.11)$$

где $I_{СЗ}$ – ток срабатывания защиты от ОЗЗ, А;

$I_R$ – ток в заземляющем резисторе, А.

Увеличить зону защиты витков обмотки трансформатора от ОЗЗ можно, увеличивая активный ток резистора, либо снижая ток срабатывания защиты в пределах допустимых значений, определяемых коэффициентом чувствительности защит.

7.2.8 Быстрое отключение ОЗЗ при использовании низкоомного резистора дает возможность выбора заземляющего трансформатора и резистора для кратковременной работы в режиме ОЗЗ, в течение которой не должно наблюдаться превышение их нормируемых температурных параметров.

7.2.9 Защита от ОЗЗ устанавливается на всех отходящих кабельных линиях с использованием релейной защиты нулевой последовательности и трансформаторов тока типа ТТНП и цифровых терминалов или реле РТЗ-50, РТЗ-51 (РТ-40/2(6,10)) с действием на отключение этих присоединений. Если кабельная линия состоит из нескольких параллельно работающих трехфазных или групп из трех однофазных кабелей, то трансформаторы тока ТТНП

устанавливают на каждом трехфазном кабеле или на каждой группе из трех однофазных кабелей.

7.2.10 Ток срабатывания защиты присоединений от ОЗЗ $I_{СЗ}$, А, вычисляют по формуле

$$I_{СЗ} = K_{Н} \cdot K_{б} \cdot K_{зап} \cdot I_{С}, \quad (7.12)$$

где $K_{Н}$ – коэффициент надежности, принимается равным 1,4;

$K_{б}$ – коэффициент, учитывающий бросок емкостного тока, принимается для реле РТЗ-51 равным 2 – 3, для реле РТЗ-50 равным 3 – 4, для реле РТ-40 равным 2, для цифровых терминалов равным 1,1 (при времени срабатывания – 0,4 с и более) и 1,4 (при времени срабатывания – 0÷0,2 с);

$K_{зап}$ – коэффициент запаса, учитывающий увеличение длины распределительной линии, отходящей от шин распределительного пункта при срабатывании АВР в ЗРУ трансформаторной подстанции. При расчете тока срабатывания защиты распределительных кабельных линий, питающихся от распределительных пунктов, от ОЗЗ $I_{СЗ}$ коэффициент запаса принимается равным 2, для всех остальных случаев коэффициент запаса равен 1;

$I_{С}$ – емкостный ток ТТНП защищаемого присоединения при ОЗЗ на секции ЗРУ – 6 и 10 кВ.

7.2.11 При возникновении режима длительного ОЗЗ (например, при отказе в работе защиты), защита нулевой последовательности ТЗН или ФНП с выдержкой времени действует на отключение секционного выключателя (если он включен) и выключателя ввода с запретом АВР секционного выключателя. При этом выдержка времени на отключение секционного выключателя должна быть на ступень времени ниже выдержки времени на отключение выключателя ввода.

7.2.12 На фидерах питания ТЗН или ФНП, подключенного к шинам ЗРУ, защита от ОЗЗ служит для резервирования несрабатывания выключателя

ввода при его отказе в работе в режиме длительного ОЗЗ, а также для предотвращения длительного протекания тока ОЗЗ в нетермостойком заземляющем резисторе.

7.2.13 При наличии возможности перевода распределительного пункта или в ремонтных схемах на питание от питающей линии подстанции, работающей в режиме изолированной или компенсированной нейтрали, для локализации ОЗЗ в работе должно быть оставлено существующее устройство сигнализации однофазных замыканий на землю.

### 7.3 Заземление нейтрали сети 6 и 10 кВ через дугогасящий реактор

7.3.1 Заземление нейтрали сети через ДГР приводит к компенсации емкостных токов в месте замыкания и к снижению величин дуговых перенапряжений. Однако остается опасность возникновения больших кратностей перенапряжений при неточной настройке дугогасящего реактора, возникновения резонансных перенапряжений, а также перенапряжений при неполнофазных режимах.

7.3.2 Выбор мощности ДГР осуществляется по методике, изложенной в [6].

7.3.3 При резонансном заземлении нейтрали сети дуговые перенапряжения на неповрежденных фазах не превышают $2{,}4 \cdot U_{\text{ф}}$ (при напряжении повторных пробоев меньшем или равном фазному).

7.3.4 При неточной настройке ДГР процесс выравнивания напряжений фаз после погасания дуги носит характер биений, частота которых определяется степенью расстройки компенсации и добротностью колебательного контура. При точной настройке ДГР или небольшой перекомпенсации, расстройка и возникновение биений при ОЗЗ возможны при отключении присоединения с большим емкостным током подпитки. Опасность биений состоит в том, что повторные пробои могут произойти при напряжении, близком к максимуму, что вызывает значительные перенапряжения на здоровых фазах.

7.3.5 При расстройке компенсации от 15 % до 30 % дуговые перенапряжения достигают $(2{,}8 \div 3{,}0) \cdot U_{\text{ф}}$, что с точки зрения ограничения перенапряжений делает применение ДГР неэффективным.

7.3.6 Устройства релейной защиты от ОЗЗ, основанные на токовом принципе, не функционируют в условиях полной компенсации тока однофазного замыкания на землю. Для работы наиболее массовых устройств релейной защиты необходимо, чтобы ток ОЗЗ был больше тока срабатывания защиты $I_{\text{СЗ}}$, поэтому сети с ДГР часто эксплуатируют с перекомпенсацией емкостного тока ОЗЗ. В этом случае для обеспечения селективной работы защиты от ОЗЗ должно выполняться условие

$$I_{\text{З}} = I_L - I_C > I_{\text{СЗ}}, \tag{7.13}$$

то есть ток замыкания должен быть больше тока срабатывания защиты. Очевидно, что в таком случае эффективность применения ДГР существенно снижается.

7.3.7 ДГР целесообразно применять с автоматической настройкой компенсации. Автоматическая настройка реактора позволяет снизить ток ОЗЗ до значений, определяемых точностью работы автоматики и принятой степенью отстройки от резонанса в нормальном режиме. Подключение реакторов с автоматической настройкой степени компенсации применяется в схемах, допускающих длительное существование режима с неустраненным ОЗЗ.

### 7.4 Комбинированное заземление нейтрали сети 6 и 10 кВ

7.4.1 Значение сопротивления заземляющего резистора $R^*_N$, Ом, позволяющего устранить биения, выбирают исходя из соотношения

$$R^*_N = U_{\Phi} / \Delta I, \tag{7.14}$$

где $\Delta I$ – ток расстройки компенсационного реактора, А.

Определенное по формуле (7.14) значение сопротивления резистора $R^*_N$, подключенного параллельно ДГР, приводит к полному устранению биений

после погасания дуги и к снижению перенапряжений при повторных пробоях до уровня $U_{макс} \approx 2{,}4 \cdot U_{ф\ макс.}$ Однако, чаще всего, мощность такого резистора является избыточной.

Уточнение значения сопротивления резистора, позволяющего снизить перенапряжения до заданной величины, осуществляется расчетным путем с учетом всех влияющих факторов по специализированным программам. В этом случае параметры резистора рассчитывают исходя из необходимости обеспечения:

– ограничения перенапряжений в режиме ОЗЗ до заданной величины $К_П$;

– ограничения напряжений, возникающих на нейтрали в нормальном режиме за счет несимметрии параметров схемы;

– увеличения активной составляющей тока замыкания на землю до требуемого уровня, с проверкой возможности селективной работы защит на токовом принципе;

– исключения опасных феррорезонансных явлений.

7.4.2 При подключении параллельно ДГР высокоомного резистора с сопротивлением

$$R_N = (1.5...2.0) \cdot U_Ф / \Delta I \qquad (7.15)$$

максимальные перенапряжения не превышают уровня $U_{макс} \approx 2.6 \cdot U_{ф\ макс}$.

7.4.3 Для обеспечения работы сети при наличии ОЗЗ с возможностью осуществления при необходимости немедленного селективного отключения поврежденного присоединения (при отсутствии самогашения дуги) может быть использован регулируемый дугогасящий реактор с встроенным шунтирующим низкоомным резистором (рисунок 7.2). Для поиска места ОЗЗ и его отключения шунтирующий резистор (ШР) подключается через специальный контактор во вторичную силовую обмотку регулируемого дугогасящего реактора.

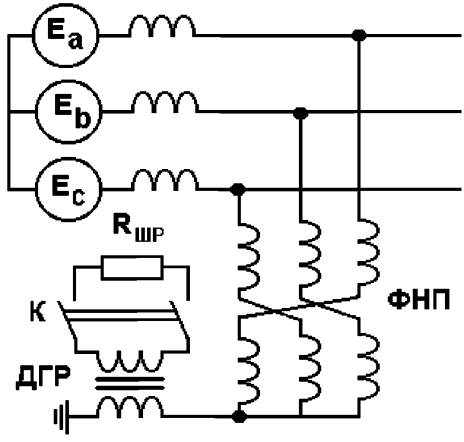



**Рисунок 7.2** – Схема подключения регулируемого дугогасящего реактора с шунтирующим резистором

ШР должен быть рассчитан на кратковременное протекание расчетного тока и не предназначен для длительной работы под напряжением. В режиме ОЗЗ при включении контактора ШР создает активный ток $I_R$, А в месте повреждения, вычисляемый по формуле

$$I_З \approx I_R = \frac{U_Н}{\sqrt{3} \cdot R_{ШР}} \cdot \frac{1}{К^2}, \qquad (7.16)$$

где $U_Н$ – линейное напряжение сети, В;

$R_{ШР}$ – сопротивление ШР, Ом;

К – коэффициент трансформации, равный отношению числа витков ДГР к числу витков его вторичной силовой обмотки.

### 7.5 Рекомендуемые режимы заземление нейтрали сетей напряжением 6 и 10 кВ

7.5.1 На выбор варианта режима заземления нейтрали сети влияют следующие её характеристики:

– величина тока однофазного замыкания на землю $I_C$, А, который может быть вычислен по формуле

$$I_C = \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \omega \cdot C \cdot l, \qquad (7.17)$$

где $U_{\text{Н}}$ – линейное напряжение сети, В;

$\omega$ – круговая частота, рад/с;

$C$ – погонная емкость «фаза-земля» кабельной или воздушной линии, Ф/км;

$l$ – суммарная длина линий, км.

– электрическая прочность изоляции электрооборудования;

– возможность осуществления отключения присоединения с однофазным замыканием на землю (резервируемость нагрузки присоединений);

– возможность организации селективной защиты от однофазного замыкания на землю;

– электробезопасность;

– наличие явно выведенной нейтрали сети.

Рекомендуемые варианты режима заземления нейтрали сети в зависимости от принципа действия защиты от ОЗЗ и величины тока однофазного замыкания на землю представлены в сводной таблице 7.1.

7.5.2 Для секций шин подстанций с нагрузкой, отключение которой в режиме ОЗЗ недопустимо (при емкостном токе замыкания на землю в пределах 5-10 А), ограничение дуговых перенапряжений осуществляется подключением к нейтрали сети высокоомного резистора, сопротивление которого определяют по формуле (7.2). Резистор должен иметь исполнение, позволяющее длительную эксплуатацию в режиме ОЗЗ. При этом поиск и отключение поврежденного участка с ОЗЗ выполняется эксплуатационным

персоналом. Следует проверить возможность использования активного тока, создаваемого резистором, для определения поврежденного присоединения с действием на сигнал.

**Таблица 7.1** – Выбор режима заземления нейтрали сетей 6 и 10 кВ

<table>
<tr><th rowspan="2">Значение $I_C$</th><th rowspan="2">Характеристика сети</th><th colspan="2">Рекомендуемый режим заземления нейтрали сети</th></tr>
<tr><th>при действии релейной защиты на сигнал (без отключения присоединения с ОЗЗ)</th><th>при действии релейной защиты на отключение присоединения с ОЗЗ</th></tr>
<tr><td>5...10 А</td><td rowspan="3">Кабельные распределительные сети 6 и 10 кВ</td><td>Высокоомное заземление нейтрали сети $I_R \approx I_C$.</td><td rowspan="3">Заземление нейтрали сети через резистор с током, достаточным для обеспечения селективного отключения ОЗЗ. Требуемая величина тока резистора определяется типом используемых защит от ОЗЗ.</td></tr>
<tr><td>10...20 А</td><td>Точная компенсация тока ОЗЗ настраиваемым дугогасящим реактором с возможностью автоматического подключения параллельно реактору низкоомного резистора.<br>В случае использования ДГР без автоматической настройки параллельно реактору устанавливается высокоомный резистор.</td></tr>
<tr><td>Более 20-30 А</td><td>Точная компенсация тока ОЗЗ настраиваемым дугогасящим реактором с возможностью автоматического подключения параллельно реактору низкоомного резистора.</td></tr>
</table>

7.5.3 При емкостном токе замыкания на землю в пределах 10-20 А в сети 10 кВ и 10-30 А в сети 6 кВ, ПУЭ [1] при токах ОЗЗ, превышающих 20 А в сети 10 кВ, и 30 А в сети 6 кВ, должна применяться компенсация емкостного тока замыкания на землю. В таких схемах должны быть предусмотрены меры по ограничению дуговых перенапряжений в условиях подключения к нейтрали дугогасящих реакторов.

7.5.4 Исключение перенапряжений в сети с ДГР при его расстройке, превышающей 15 %, и создание условий для действия релейной защиты на сигнал (без селективного отключения присоединения с ОЗЗ) с последующим плановым отключением ОЗЗ осуществляется подключением параллельно ДГР

резистора с сопротивлением, определяемым исходя из максимального ожидаемого значения тока небаланса $\Delta I$ по формуле (7.15).

7.5.5 При установке автоматически настраиваемого дугогасящего реактора должна быть предусмотрена возможность подключения параллельно реактору низкоомного резистора. Также может быть использован регулируемый дугогасящий реактор с встроенным шунтирующим низковольтным резистором.

7.5.6 В схемах распределительных подстанций для реализации действия релейной защиты на отключение присоединения с ОЗЗ должно применяться заземление нейтрали сетей 6 и 10 кВ через резистор с сопротивлением, выбранным по формуле (7.7).

## 8 Кабельные распределительные сети 35 кВ

### 8.1 Общие положения

8.1.1 Для ограничения перенапряжений, локализации развития повреждений, повышения электробезопасности и надежности эксплуатации оборудования в сетях 35 кВ следует применять:

а) дугогасящие реакторы плунжерного типа с автоматическими регуляторами настройки компенсации на принципе контроля параметров контура нулевой последовательности (при необходимости компенсации емкостного тока согласно требованиям ПУЭ и ПТЭ). Целесообразно применение комбинированного заземления нейтрали (с низкоомным подключаемым резистором или высокоомным неотключаемым);

б) резистивное низкоомное (глухое) заземление нейтрали при немедленном отключении присоединения с однофазным повреждением.

8.1.2 Применение резистивного (глухого) заземления нейтрали сети 35 кВ:

а) снижает перенапряжения на здоровых фазах и увеличивает срок службы изоляции кабельных сетей;

б) исключает развитие аварий с многоместными повреждениями;

в) подавляет резонансные и феррорезонансные явления;

г) позволяет релейной защите селективно и с достаточной чувствительностью определить и отключить фидер с однофазным повреждением;

д) позволяет применять ОПН для ограничения коммутационных перенапряжений с более глубоким уровнем их ограничения.

8.1.3 Низкоомное резистивное заземление нейтрали применяется в случаях, когда однофазное повреждение должно быть селективно отключено в течение минимально возможного времени. При этом суммарный ток в цепи нейтрали должен быть достаточным для работы релейной защиты на отключение фидера с однофазным повреждением. Величина сопротивления низкоомного резистора должна быть достаточной для обеспечения селективного срабатывания релейной защиты при однофазном повреждении на защищаемом присоединении.

8.1.4 Низкоомное резистивное заземление нейтрали (глухое заземление нейтрали) характеризуется снижением уровня перенапряжений в сети до (1,0-2,2)·$U_Ф$ и эффективной защитой от однофазных повреждений.

8.1.5 Выбор количества резисторов осуществляется на этапе проектирования, исходя из общего правила: в нейтраль сети 35 кВ каждой секции шин, которая хотя бы в одном из режимов работы может длительно эксплуатироваться самостоятельно (без связи с иными секциями шин), должен быть установлен собственный резистор.

8.1.6 В сети, где осуществляется комбинированное заземление нейтрали, за счет снижения добротности контура допускается длительное существование смещения нейтрали с уровнем, ограниченным до значений не более 5% от $U_Ф$.

8.1.7 Глухое заземление нейтрали в сети 35 кВ наиболее простой и надежный способ обеспечения самого низкого уровня перенапряжений на

изоляции оборудования этой сети и надежной и селективной работы релейных защит.

### 8.2 Выбор сопротивления резистора при низкоомном заземления нейтрали

8.2.1 Низкоомное резистивное заземление нейтрали следует использовать во всех случаях, когда возможно обеспечить быстродействующий ввод резерва (БАВР) для питания отключенного при ОЗЗ оборудования. Время БАВР по стороне 35 кВ, как правило, не должно превышать 100 мс.

8.2.2 Главной целью низкоомного резистивного заземления нейтрали сети является создание условий для образования в месте повреждения устойчивой дуги и быстрое отключение ОЗЗ релейной защитой. При этом также обеспечивается глубокое ограничение дуговых и резонансных перенапряжений.

8.2.3 Сопротивление резистора выбирают наименьшим, исходя из двух условий:

1) обеспечение устойчивого горения дуги при ОЗЗ, при котором ток резистора должен превышать емкостной ток ОЗЗ в 2,5÷4,0 раза

$$I_R \geq (2{,}5 \div 4{,}0) \cdot I_C \Rightarrow R_N \leq \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot (2{,}5 \div 4{,}0) \cdot I_C}. \qquad (8.1)$$

2) обеспечение селективного срабатывания простых токовых защит на отключение ОЗЗ, при котором ток резистора должен превышать максимальный ток срабатывания защиты $I_{\text{СЗmax}}$ от ОЗЗ в соответствии с выражением:

$$R_N = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} I_{\text{СЗmax}}}, \qquad (8.2)$$

где $I_{\text{СЗmax}}$ – максимальный ток срабатывания релейной защиты от ОЗЗ.

Резистор, выбранный из условия обеспечения селективности релейной защиты от ОЗЗ, как правило, создает активный ток, существенно превышающий емкостной.

8.2.4 Основным критерием выбора низкоомного резистора для заземления нейтрали является обеспечение селективности РЗиА на основе простых ненаправленных токовых защит согласно выражению (8.2). Выполнение этого условия обеспечивает уровень $K_U$ =1,0÷2,2.

8.2.5 При малых токах ОЗЗ (порядка 0,1-10 А) целесообразно выбрать величину низкоомного резистора так, чтобы активная составляющая тока была не менее 40–50 А, т.к. именно такой ток позволит обеспечить переход от перемежающегося характера горения дуги к устойчивому и будет достаточным для надежной работы релейной защиты от ОЗЗ с действием на отключение поврежденного присоединения.

8.2.6 При отказе в работе выключателя присоединения с ОЗЗ в сети с низкоомным резистором в нейтрали предусматривается отключение трансформатора заземления нейтрали с резистором.

8.2.7 Термическая стойкость низкоомного резистора оценивается по допустимому кратковременному току $I_{R_ДОП}$ и времени его протекания $t_{R_ДОП}$, которые должны удовлетворять условиям

$$I_{R_ДОП} \geq \frac{U_{НОМ}}{\sqrt{3}R_N}, \quad (8.3)$$

$$t_{R_ДОП} \geq t_{СЗрезерв}, \text{ но не менее 5-10 с}, \quad (8.4)$$

где $t_{СЗрезерв}$ – время отключения ОЗЗ резервной защитой, действующей на вводной выключатель, с.

### 8.3 Способы подключения резисторов в нейтраль сети 35 кВ. Выбор трансформаторов заземления нейтрали

8.3.1 Нейтрали сетей 35 кВ заземляются через резистор на питающих ПС. Резисторы для заземления нейтрали сети устанавливаются на каждой секции шин 35 кВ.

8.3.2 В качестве трансформаторов заземления нейтрали (ТЗН) можно использовать силовые трансформаторы Y0/Δ-11 (рисунок 8.1а) или фильтры нулевой последовательности (рисунок 8.1б).

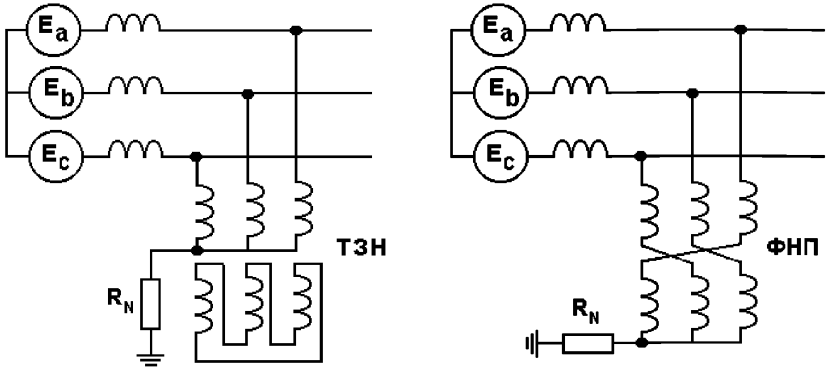



**Рисунок 8.1** – Схемы включения резисторов в сети 35 кВ: а) в нейтраль обмотки высокого напряжения со схемой соединения обмоток Y0/Δ; б) в нейтраль фильтра нулевой последовательности

8.3.3 При подключении резистора необходимо производить проверку трансформатора заземления нейтрали на термическую стойкость в режиме ОЗЗ.

8.3.4 Мощность специального трансформатора со схемой соединения обмоток Y0/Δ-11 выбирается по условию:

$$S_{\text{ТЗН}} \geq \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{3 \cdot k_{\text{пер}} \cdot R_{\text{N}}}, \text{ кВ·А} \qquad (8.5)$$

где $k_{\text{пер}}$=1,4÷2,0 – расчетный коэффициент перегрузки трансформатора.

8.3.5 При наличии в конкретной сети трансформатора со схемой соединения обмоток Y0/Δ-11 допускается включение резистора в нейтраль обмотки высшего напряжения при условии проверки термической стойкости трансформатора в режиме ОЗЗ по условию:

$$I_{\text{ДОП}} = \sqrt{(1{,}1 \cdot I_{\text{НОМ}})^2 - \left(\frac{I_R}{3}\right)^2}, \qquad (8.6)$$

где $I_R$ – ток через резистор в режиме ОЗЗ, А;

$I_{\text{НОМ}} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}$ – номинальный ток ТЗН, А.

8.3.6 При выборе в качестве устройства для выделения нейтрали ФНП следует ориентироваться на следующие параметры, исходя из условий работы фильтров в режиме ОЗЗ:

– наибольшая предполагаемая длительность сохранения режима ОЗЗ в сети;

– максимальный ток нагрузки ФНП;

– номинальный ток нагрузки ФНП, при допустимости его длительной работы в режиме ОЗЗ.

8.3.7 Мощность трансформатора заземления нейтрали определяется при учете, что по фазам обмотки ВН трансформатора в режиме ОЗЗ протекают одинаковые по величине токи, равные одной третьей тока через нейтраль. Мощность трансформатора из условия его длительной работы при ОЗЗ определяется из следующего выражения:

$$S_{\text{РАСЧ-Т}} = \frac{U_{\text{НОМ}} \cdot I_{\text{РАСЧ-Т}}}{\sqrt{3}} = \sqrt{P_R^2 + Q_{\text{ДГР}}^2} \le S_{\text{НОМ-Т}}. \qquad (8.7)$$

8.3.8 Если время ОЗЗ ограничено, мощность трансформатора может быть принята меньшей с учетом его перегрузки, но выбор мощности в этом случае будет зависеть от перегрузочной способности конкретного типа трансформатора.

**Библиография**

[1] Правила устройства электроустановок. 7-е и 6-е издания. Утвержден Приказом Министерства энергетики РФ от 08.07.2002 № 204 «Об утверждении глав Правил устройства электроустановок» [Текст]: СПб.: Издательство ДЕАН, 2011 год, – 168 с.

[2] Беляков Н.Н. Исследование перенапряжений при дуговых замыканиях на землю в сетях 6-10 кВ с изолированной нейтралью//Электричество. – 1957. –№5. – с. 18-27.

[3] Лихачев Ф.А. Защита от внутренних перенапряжений установок 3-220 кВ. – М.: Энергия, 1968. – 101 с.

[4] Зильберман В.А., Эпштейн И.М., Петрищев А.С., Рождественский Г.Г. Влияние способа заземления нейтрали сети собственных нужд блока 500 МВт на перенапряжения и работу релейной защиты [Текст]: М.: Электричество, 1987, № 12.

[5] Васюра Ю.Ф., Гамилко В.А., Евдокунин Г.А., Утегулов Н.И. Защита от перенапряжений в сетях 6-10 кВ [Текст]: М.: Электротехника, 1994, №5/6.

[6] Евдокунин Г.А.. Титенков С.С. Резистивное заземление нейтралей сетей 6-10 кВ. – СПб: Изд-во Терция, 2009. – 264 с.

[7] Объем и нормы испытаний электрооборудования [Текст]: РД 34.45-51.300-97 / под ред. Б.А. Алексеева, Ф.Л. Когана, Л.Г. Мамиконянца. – 6-е изд. – М.: НЦ ЭНАС, 1998. – 256 с.

[8] Вильгейм Р., Уотерс М. Заземление нейтрали в высоковольтных системах/ Пер. с англ. под ред. Д.В. Разевига. – М., Л.: Госэнергоиздат, 1959 – 414 с.

[9] Лихачев Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов – М.: Энергия, 1971. – 152 с.

[10] Беляков Н.Н. Перенапряжения от заземляющих дуг в сетях с активным сопротивлением в нейтрали// Труды ВНИИЭ. 1961. Вып. 11. – с. 84-101.

[11] Электрическая часть станций и подстанций: Учебник для вузов/ А.А. Васильев, И.П. Крючков, Е.Ф. Наяшкова и др.; Под ред. А.А. Васильева. - М.: Энергия – 1980. – 608 с.

**Приложение А**
(справочное)

# Рекомендации по настройке устройств релейной защиты и автоматики от ОЗЗ в сетях 6-35 кВ

## А.1 Общие требования к релейной защите от замыканий на землю

А.1.1 Защита от ОЗЗ в сети организуется на всех присоединениях секций 6-35 кВ. Устанавливается максимальная токовая защита нулевой последовательности (НП) с действием на отключение присоединений при низкоомном резистивном заземлении нейтрали и с действием на сигнал при высокоомном резистивном заземлении нейтрали.

А.1.2 При низкоомном резистивном заземлении достаточной селективности можно добиться, используя простейшие токовые защиты НП или направленные защиты от ОЗЗ.

А.1.3 При низкоомном резистивном заземлении релейная защита от ОЗЗ должна устанавливаться на всех присоединениях с действием на отключение этих присоединений. Если кабельная линия состоит из нескольких параллельных кабелей, то ТТНП устанавливаются на каждом кабеле, а их вторичные обмотки соединяются параллельно.

А.1.4 При отказе защит по отключению повреждённого присоединения должно быть выполнено резервное действие защит от ОЗЗ по отключению секции (ввода), к которой присоединено повреждённое присоединение, с целью защиты низкоомного резистора от термического повреждения и предотвращению работы сети в режиме ОЗЗ с большим током повреждения. При этом должен быть выполнен запрет АВР.

А.1.5 При ОЗЗ непосредственно на секции шин, к которой подключен низкоомный резистор, защита должна отключать секцию (ввод) с запретом АВР.

А.1.6 Селективность защит НП присоединений определяется тем, что активная составляющая тока ОЗЗ от резистора в нейтрали протекает только через повреждённое присоединение. Через остальные присоединения протекает только собственный ёмкостный ток нулевой последовательности, от которого защита должна быть надёжно отстроена.

А.1.7 Согласование защит разных подстанций и РП прилегающей сети необходимо производить путем установки разных выдержек времени срабатывания с шагом селективности, если это допустимо по условиям электробезопасности, при этом максимальная выдержка времени должна быть у защит от ОЗЗ питающей ПС.

А.1.8 Пуск защит от замыканий на землю рекомендуется осуществлять по напряжению нулевой последовательности с уставкой реле не менее 10 В (рекомендуемое значение – 30 В). При наличии ДГР в сети уставка реле по $3U_0$ должна составлять не менее 15 В.

А.1.9 Применение АПВ на кабельных линиях 6-35 кВ после отключения ОЗЗ следует исключить по причине возможного перехода ОЗЗ в междуфазные короткие замыкания. Выбор варианта АПВ (однократное, двукратное, отказ от АПВ) на кабельных линиях 6-20 кВ осуществляется для конкретной сети по результатам анализа количества успешных и неуспешных АПВ в текущих условиях эксплуатации сети.

А.1.10 В зависимости от ряда факторов, в числе которых режим заземления нейтрали, схема сети, соотношение токов, требования к РЗиА и пр., выбирается тип устанавливаемой на отходящем присоединении защиты.

А.1.11 На практике чаще всего защита от ОЗЗ организуется на базе индивидуального терминала защиты отходящего присоединения, в котором предусмотрена соответствующая функция и вход для подключения ТТНП и напряжения нулевой последовательности ТН.

А.1.12 Каждая из секций, питающих другие секции нижнего уровня, обеспечивает защиты шин подстанции от замыканий на землю, а также всех

присоединений, на которых не установлена защита от замыканий на землю. Для головной питающей секции резервирование обеспечивается неселективной защитой по максимальному напряжению нулевой последовательности, выдержка времени которой устанавливается на ступень селективности больше, по отношению к защитам от ОЗЗ секций нижнего уровня.

А.1.13 Достаточность выбранных защит от ОЗЗ проверяется и сопровождается расчетом уставок, определением выдержек времени и проверкой чувствительности защит с формированием карты селективности.

А.1.14 Расчет токов для выбора уставок защит от ОЗЗ производится для металлических замыканий. Выбор уставок защит от ОЗЗ осуществляется в соответствии с рекомендациями изготовителя и разработчика устройства защиты и с методикой выбора уставок защит, приведенной в Приложении В.

А.1.15 Коэффициент чувствительности определяется для минимального тока металлического замыкания и должен составлять $k_{\text{ч}} \geq 1{,}5$.

При необходимости учета переходного сопротивления в кабельных сетях с резистивным заземлением нейтрали в месте повреждения переходное сопротивление (сопротивление дуги) принимается равным 30 Ом.

### А.2 Типы релейной защиты для отходящих присоединений

А.2.1 Неселективная защита (сигнализация) от ОЗЗ по напряжению НП $3U_0$ является самой простой защитой от ОЗЗ в сети 6-35 кВ с резистивным заземлением нейтрали. В напряжении $3U_0$ содержится гораздо меньше высокочастотных составляющих, поэтому такая защита лучше ведёт себя при ОЗЗ, сопровождающихся горением перемежающейся или прерывистой дуги. Защита по $3U_0$ действует на отключение в случае, если имеется только одно присоединение, и используется для организации сигнализации замыкания на землю в сети или как пусковой орган токовых защит от ОЗЗ при наличии двух и более присоединений.

А.2.2 Ненаправленные токовые защиты НП, код *ANSI* 50/51*N* имеют наиболее широкое распространение в сетях 6-35 кВ. Применение таких защит оправдано в случае низкоомного резистивного заземления нейтрали, а также в сетях с большим числом присоединений. Только в таких случаях чувствительность токовых защит оказывается достаточной. Различают разновидности таких защит:

1). ненаправленная токовая защита НП с независимой времятоковой характеристикой, реагирующая на составляющую тока НП промышленной частоты является наиболее простой токовой защитой от ОЗЗ в сети 6-35 кВ с резистивным заземлением нейтрали. Такая защита реагирует на значение полного тока нулевой последовательности промышленной частоты ($3I_0$). Селективность и чувствительность этой защиты обеспечивается схемой сети и выбором соответствующих параметров резистивного заземления и уставок РЗиА;

2). ненаправленная токовая защита НП с обратнозависимой времятоковой характеристикой, реагирующая на составляющую тока НП промышленной частоты. Защита аналогична предыдущему типу защиты, но имеет более высокую селективность срабатывания. Повышение селективности срабатывания защиты обеспечивается за счет ее меньшего времени срабатывания $t_{СР}$, которое соответствует большему значению суммарного тока ОЗЗ по сравнению с собственными емкостными токами каждой из неповрежденных линий. После первоочередного отключения поврежденной линии защиты всех неповрежденных линий автоматически возвращаются в исходное положение. Если предусматривается действие этой защиты исключительно на сигнал, необходимо выполнить блокировки защит неповрежденных присоединений после срабатывания защиты поврежденного присоединения.

А.2.3 Направленная токовая защита НП, код *ANSI* 67*N* используется при недостаточной чувствительности простых токовых защит НП в сетях с

низкоомным резистивным заземлением нейтрали и большими значениями собственных емкостных токов присоединений. Отстройка $I_{СЗ}$ происходит по направлению мощности нулевой последовательности, которая на поврежденном присоединении направлена от линии к шинам, а на неповрежденных присоединениях – от шин в линию. Это позволяет отстраивать реле не от собственных ёмкостных токов, а только от тока небаланса, что дает значительное повышение чувствительности направленных защит по сравнению с ненаправленными токовыми защитами. Однако при перемежающихся дуговых замыканиях на землю также возможны неселективные действия и отказ в срабатывании такой защиты.

А.2.4 Применение защит от ОЗЗ на высших гармониках для сетей 6-35 кВ с малыми емкостными токами (до 10-15 А) в общем случае не рекомендуется и требует специального обоснования на основе исследования гармонического состава тока замыкания на землю в конкретной сети.

А.2.5 Защиты, основанные на использовании переходных составляющих токов и напряжений НП, целесообразно применять исключительно в комплексе с токовыми направленными защитами: сигнал на отключение поступает только при одновременном срабатывании обоих типов защит.

### А.3 Рекомендации по выбору типов РЗиА в сети с резистивным заземлением нейтрали

А.3.1 В зависимости от режима заземления нейтрали (в том числе от номинала резисторов), конфигурации сети, уровней емкостных токов ОЗЗ и других факторов выбирается тип РЗиА от ОЗЗ, устанавливаемых на отходящих присоединениях. Как правило, защита от ОЗЗ организуется на базе индивидуального терминала защиты отходящего присоединения, в котором предусмотрена соответствующая функция и вход для подключения ТТНП.

А.3.2 При низкоомном резистивном заземлении нейтрали при использовании кабельных ТТНП для обеспечения селективности достаточно

ненаправленной токовой защиты НП с независимой время-токовой характеристикой. Ненаправленные токовые защиты НП с обратно-зависимой время-токовой характеристикой рекомендуется использовать при необходимости снижения времени отключения, в частности, вводного выключателя секции сборных шин. Это связано с тем, что указанное время может в некоторых случаях превышать 2÷3 с из-за «накапливания» ступеней селективности по мере приближения к источнику питания.

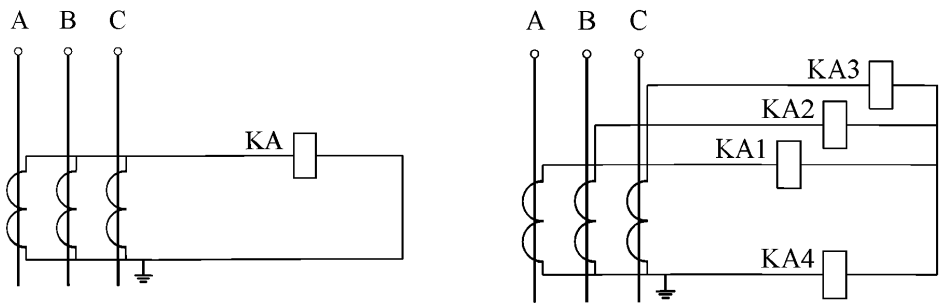
А.3.3 Защиты на присоединениях, питающих РП, рекомендуется выполнять направленными. Это позволяет увеличить чувствительность защит при изменении соотношений активного тока от резистора и емкостного тока сети за счет повышения последнего.

А.3.4 Для электроснабжения ряда ответственных потребителей (метрополитен, котельные, насосные станции, заводские цеха непрерывного цикла и пр.) часто применяется схема питания от двух параллельных КЛ, включаемых на одну секцию на питающей подстанции или на одну секцию РП. Выключатели обеих КЛ при этом нормально включены. В случае ОЗЗ на одной из КЛ полный ток ОЗЗ распределяется между поврежденной и неповрежденной кабельными линиями обратно пропорционально их сопротивлениям до точки повреждения, что усложняет организацию селективных защит ОЗЗ на таких присоединениях. При этом со стороны потребителя необходимо применение направленных защит при любых соотношениях между током от резистора в нейтрали и емкостным током ОЗЗ сети.

А.3.5 Со стороны питающей ПС рекомендуется применение направленных защит НП. В ряде случаев, при небольших емкостных токах сети (до 10-20 А) можно ограничиться применением ненаправленных защит НП, в частности, на тупиковых присоединениях (ТП). Со стороны питающей ПС также выполняется резервная защита от ОЗЗ, реагирующая на сумму токов трансформаторов тока двух параллельных кабельных линий. Дополнительно

для защиты двух параллельных кабельных линий может быть использована поперечная дифференциальная токовая защита.

А.3.6 В случае невозможности установить ТТНП на КЛ, выполненной однофазными кабелями большого сечения или с расщеплением фаз, рекомендуется использовать фильтр тока НП, собранный на трех фазных ТТ (рисунки А.1а,б). Достоинствами этих схем являются простота и относительно невысокая стоимость (рисунок А.1а); недостатком – низкая чувствительность. Последняя связана с необходимостью отстройки защит от небалансов фильтра, собранного на фазных ТТ , которые характеризуются высокими, относительно емкостного тока ОЗЗ, значениями первичных токов.




а) б)

**Рисунок А.1** – Схема подключения реле тока: а) через фильтр НП на трех фазных ТТ; б) на фильтре тока НП по четырехрелейной схеме

**Приложение Б**
(справочное)

## Особенности выбора мощности трансформатора заземления нейтрали и расчет фактического тока в нейтрали для подключения низкоомного резистора

Б.1.1 Эксплуатация трансформатора заземления нейтрали, используемого для организации нейтральной точки, при организации защит от ОЗЗ на отключение, т.е. применении низкоомного резистора, предполагается в кратковременном режиме (как правило, от 5 до 15 с), поэтому допустима его существенная перегрузка.

Б.1.2 Номинальный ток трансформатора заземления нейтрали для кратковременной работы определяется по допустимой перегрузке. Согласно [4], допустимая в течение 1,5 мин перегрузка трансформаторов с охлаждением М составляет $3I_{ном}$.

Б.1.3 Номинальный ток трансформатора заземления нейтрали определяется путем приравнивая энергии, выделяющейся в трансформаторе при протекании одной трети тока $I_R$ через резистор в течение времени $t_{ОЗЗ}$, и энергии, выделяющейся в трансформаторе при протекании допустимого тока перегрузки $I_{ПЕР}=K_{ПЕР}\cdot I_{РАСЧ\text{-}ТЗН}$ при $K_{ПЕР}=3$ в течение времени $t_{ПЕР}=1{,}5$ мин=90 с (нагрев обмоток трансформатора считается адиабатическим):

$$\left(\frac{I_R}{3}\right)^2 \cdot R_{ОБМ} t_{ОЗЗ} = I_{ПЕР}^2 \cdot R_{ОБМ} \cdot t_{ПЕР}, \qquad (Б.1)$$

где $R_{ОБМ}$ – активное сопротивление высоковольтной обмотки трансформатора заземления нейтрали.

Ток $I_{РАСЧ\text{-}ТЗН}$ и мощность фильтра определяются по формулам:

$$I_{РАСЧ-ТЗН} = \frac{1}{K_{ПЕР}} \sqrt{\frac{\left(\frac{I_R}{3}\right) \cdot t_{ОЗЗ}}{t_{ПЕР}}}, \qquad (Б.2)$$

$$S_{РАСЧ-ТЗН} = \sqrt{3} U_{НОМ} \cdot I_{РАСЧ-ФИП}. \qquad (Б.3)$$

Б.1.4 Длительность замыкания на землю $t_{ОЗЗ}$ для выбора необходимых тока и мощности трансформатора заземления нейтрали принимается, исходя из максимального рабочего времени подключаемого в нейтраль низкоомного резистора.

Б.1.5 Трансформатор заземления нейтрали обладает активным и индуктивным сопротивлениями прямой и нулевой последовательности, поэтому фактический ток от резистора при ОЗЗ может оказаться меньше номинального тока резистора $I_R$. Это следует учитывать при выборе уставок токовых защит от замыкания на землю.

Б.1.6 Фактический ток от резистора, с учетом снижения его номинального тока за счет сопротивления трансформатора заземления нейтрали, определяется выражением:

$$I^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}{Z_{N0}}, \qquad (Б.4)$$

где $Z_{N0}$ – полное сопротивление контура нулевой последовательности, в который входит резистор.

$$Z_{N0} = \sqrt{(R_{T0} + 3R_N)^2 + X_{T0}^2}, \qquad (Б.5)$$

где $X_{T0}$ и $R_{T0}$ – активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности трансформатора заземления нейтрали.

Б.1.7 Активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности трансформатора заземления нейтрали определяются по следующим формулам:

$$X_{T0} = X_{T1} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{ном}^2}{S_{длитТ}}, \qquad (Б.6)$$

$$R_{T0} = R_{T1} = \Delta P_k \cdot \frac{U_{ном}^2}{S_{длитТ}^2}, \qquad (Б.7)$$

где $u_k$ – напряжение короткого замыкания трансформатора заземления нейтрали;

$U_{НОМ}$ и $S_{НОМ\text{-}ТЗН}$ – номинальное напряжение и мощность трансформатора заземления нейтрали, определяемая исходя из его длительной работы в режиме ОЗЗ;

$\Delta P_k$ – потери короткого замыкания.

Б.1.8 Расчет фактического тока в нейтрали при ОЗЗ при установке низкоомного резистора в нейтральную точку трансформатора заземления нейтрали выполняется согласно (Б.3) с учетом выражений (Б.4)–(Б.7).

## Приложение В
(справочное)

## Методики расчета уставок токовых защит нулевой последовательности и настройки устройств РЗиА в сетях с резистивным заземлением нейтрали

### В.1 Расчет уставок ненаправленных токовых защит нулевой последовательности

#### В.1.1 Защиты присоединений

Входным сигналом для данной защиты является ток нулевой последовательности ТТНП, установленного на отходящем присоединении.

а) Первое условие выбора тока срабатывания защиты – несрабатывание защиты при внешнем ОЗЗ:

Защита отстраивается от максимального собственного емкостного тока защищаемого присоединения. Ток срабатывания защиты определяется по выражению

$$I_{СЗ} = k_Н k_{БР} I_{С\,ФИД\,max}, \qquad (В.1)$$

где $k_Н$ – коэффициент надежности;

$k_{БР}$ – коэффициент, учитывающий бросок емкостного тока в момент возникновения ОЗЗ, а также способность реле реагировать на него;

$I_{С\,ФИДmax}$ – максимальное значение собственного емкостного тока защищаемого присоединения при внешнем ОЗЗ.

Рекомендуемые значения коэффициентов:

$k_Н = 1{,}2$;

$k_{БР} = 3 \div 5$ – для электромеханических реле типа РТ-40;

$k_{БР} = 2 \div 3$ – для реле типа РТЗ-51;

$k_{БР} = 1 \div 1{,}5$ – для микропроцессорных защит;

$k_{БР} = 1$ – при времени срабатывания защиты более 0,3 с.

При выборе уставок срабатывания необходимо руководствоваться рекомендациями разработчика и изготовителя защиты.

б) Второе условие выбора тока срабатывания защиты – срабатывание (требуемая чувствительность) защиты при ОЗЗ на защищаемом присоединении:

$$k_{\text{Ч}} = \frac{I_{\text{ЗАЩ}}}{I_{\text{СЗ}}} \geq k_{\text{Чнорм}} \qquad \text{(В.2)}$$

где $I_{\text{ЗАЩ}}$ – полный ток ОЗЗ (геометрическая сумма суммарного емкостного тока и активного тока резистивного заземления), протекающий в месте установки защиты при ОЗЗ на защищаемом присоединении.

В резистивно-заземлённых сетях ток в защите определяется по выражению:

$$I_{\text{ЗАЩ}} = \sqrt{I'^{2}_{C\Sigma} + I_R^{2}} \qquad \text{(В.3)}$$

где $I'_{C\Sigma}$ – суммарный ёмкостный ток сети за вычетом ёмкостного тока защищаемого присоединения;

$I_R$ – ток заземляющего резистора, протекающий по защите повреждённого присоединения.

Рекомендуемые значения нормируемого коэффициента чувствительности:

$k_{\text{Чнорм}} \geq 1{,}5$ – для реле типа РТЗ-51;

$k_{\text{Чнорм}} = 1{,}25$ – для микропроцессорных терминалов;

При этом меньшие значения относятся к кабельным линиям.

При использовании на отходящем присоединении трехтрансформаторного фильтра тока НП (Приложение А, рис. А1а) ток срабатывания защиты определяется как:

$$I_{\text{СЗ}} = k_{\text{Н}} \cdot (k_{\text{БР}} I_{C\,\text{ФИД}\,max} + I_{\text{НБ}}), \qquad \text{(В.4)}$$

Ток небаланса трехтрансформаторного фильтра $I_{\text{НБ}}$, определяется как:

$$I_{\text{НБ}} = k_{\text{ОДН}} \cdot \varepsilon \cdot I_{\text{КЗ}\,max}, \qquad \text{(В.5)}$$

где $k_{\text{ОДН}} = 0{,}5 \div 1{,}0$ – коэффициент однотипности трансформаторов тока;

$\varepsilon = 0{,}1$ – предельная погрешность трансформаторов тока;

$I_{\text{КЗ}\,max}$ – максимальный ток междуфазного КЗ, который будет протекать по фильтру.

Именно большие токи междуфазных КЗ приводят к появлению в трехтрансформаторных фильтрах тока НП значительных токов небаланса, от которых необходимо отстраивать защиту, если это не выполнено соответствующим выбором выдержки времени.

На практике выбор уставки срабатывания защиты отходящего присоединения целесообразно осуществлять по требуемому коэффициенту чувствительности $k_{\text{ч}}$. Тогда ток срабатывания защиты определяется по выражению:

$$I_{\text{СЗ}} = \frac{I_{\text{ЗАЩ}\,min}}{k_{\text{ч}}}, \qquad \text{(В.6)}$$

где $I_{\text{ЗАЩ}min}$ – минимальный ток, протекающий через фильтр тока при ОЗЗ на защищаемом присоединении.

Ток, протекающий через защиту при ОЗЗ на защищаемом присоединении, будет минимален, если через нее протекает только активный ток, обусловленный наличием резистора в нейтрали. Тогда с учетом (Приложение Б, формула (Б.5)) получим:

$$I_{\text{ЗАЩ}\,min} = \frac{\sqrt{3}\cdot U_{\text{НОМ}}}{Z_{N0}}. \qquad \text{(В.7)}$$

Полученная уставка должна быть проверена по условию несрабатывания при внешнем повреждении по выражению (В.1). В большинстве случаев данное условие выполняется, однако при больших величинах токов присоединения (20 А и более) условие не выполняется, и защита может оказаться неэффективной.

### В.1.2 Защиты присоединения с резистором и секции шин

Защита заземляющего резистора по цепям тока подключается к трансформатору тока, установленному в цепи резистора. Данная защита обеспечивает отключение источника питания (вводного и секционного выключателей) при ОЗЗ на шинах и присоединении резистора, а также обеспечивает дальнее резервирование в случаях отказа выключателей или защит отходящих присоединений.

Уставка срабатывания защиты по току определяется по выражению:

$$I_{\text{СЗ}} = \frac{I_N}{k_{\text{ч}}} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}{k_{\text{ч}} \cdot Z_{N0}}. \qquad \text{(В.8)}$$

Проверка данной защиты по условию отстройки по току не требуется.

Время срабатывания защиты, входящей в состав терминала защиты секционного выключателя, принимается на ступень селективности больше максимального времени срабатывания защит от ОЗЗ отходящих присоединений.

$$t_{\text{СЗ-СЕКЦ}} = t_{\text{СЗ}max} + \Delta t, \qquad \text{(В.9)}$$

где $\Delta t$ – ступень селективности.

Рекомендуемые значения:

$\Delta t$=0,5 с – при согласовании защиты с защитами отходящих присоединений, выполненными на электромеханических и полупроводниковых реле;

$\Delta t$=0,2÷0,3 с – при согласовании защиты с защитами отходящих присоединений, выполненными на микропроцессорной элементной базе.

Время срабатывания защиты, входящей в состав терминала защиты вводного выключателя, принимается на ступень селективности больше времени срабатывания защиты секционного выключателя:

$$t_{\text{СЗ-ВВОДА}} = t_{\text{СЗ-СЕКЦ}} + \Delta t. \qquad \text{(В.10)}$$

Целесообразно иметь два набора уставок по времени на вводном выключателе. В нормальном режиме (при отключенном секционном

выключателе) время срабатывания защиты вводного выключателя аналогично (В.9) должно быть равным:

$$t_{\text{СЗ-ВВОДА}} = t_{\text{СЗ}\,max} + \Delta t\,, \qquad \text{(В.11)}$$

при этом должно выполняться условие по обеспечению термической стойкости низкоомного резистора с учетом выражения (В.7).

### В.1.3 Пример расчета уставок ненаправленной токовой защиты от замыкания на землю в сети с низкоомным резистивным заземлением нейтрали

Пусть к секции шин 6 кВ подстанции подключено несколько присоединений (рисунок В.1).

При известных марках, сечениях и длинах кабельных линий присоединений емкостный ток ОЗЗ может быть определен как:

$$I_C = \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \omega \cdot C_{\text{уд}} \cdot L, \text{ А} \qquad \text{(В.12)}$$

где $U_{\text{НОМ}}$ – номинальное напряжение сети, В;

$\omega$ – угловая частота сети, рад/с;

$C_{\text{уд}}$ – удельная емкость линии, Ф/км;

$L$ – длина линии, км.

Параметры кабельных линий и рассчитанные емкостные токи присоединений секции шин 6 кВ ПС 110/10/6 кВ (рисунок В.1) представлены в таблице В.1.

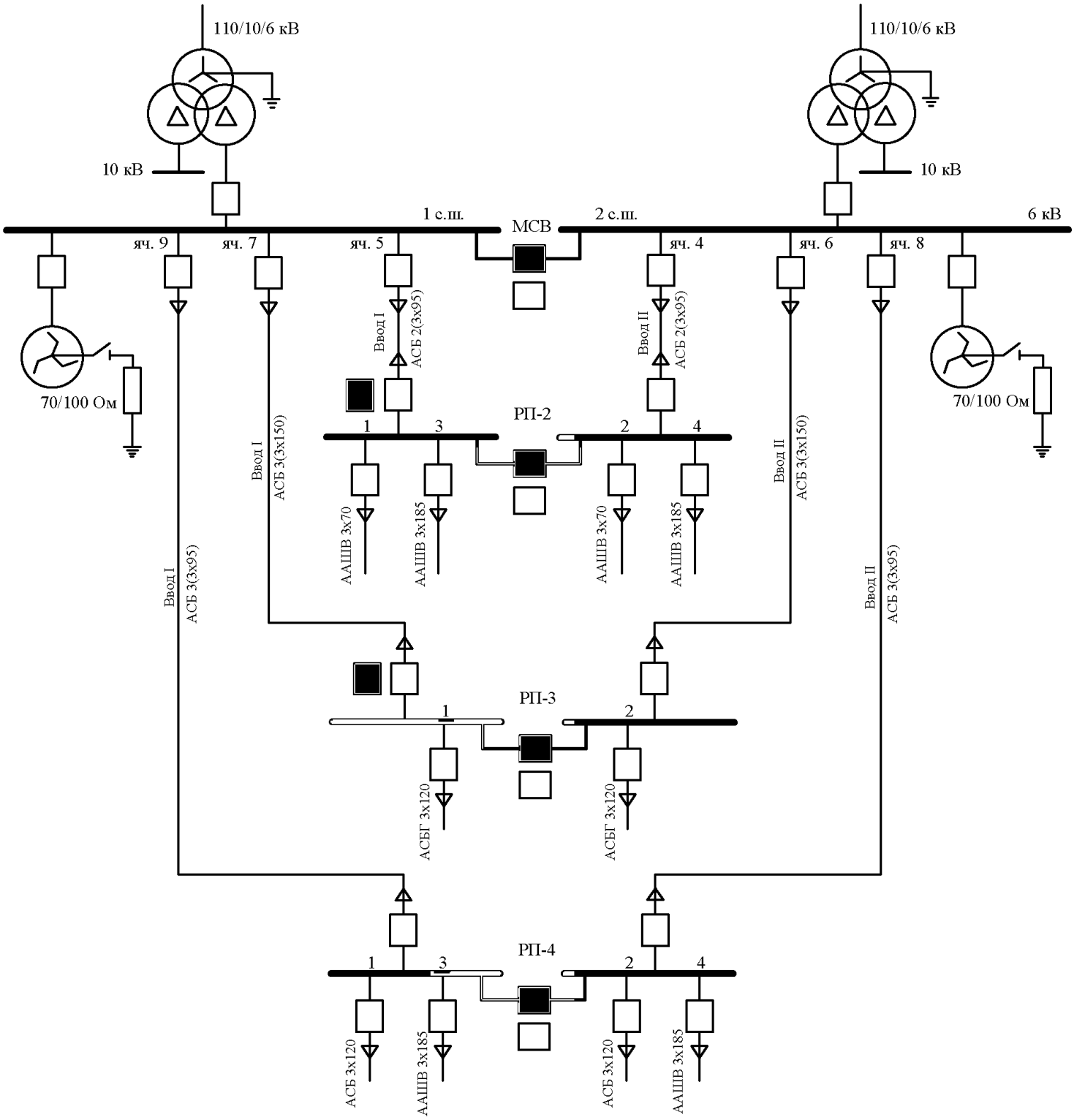



**Рисунок В.1** – Схема сети 6 кВ ПС 110/10/6 кВ для расчета уставок ненаправленной токовой защиты от ОЗЗ и выбора номинала низкоомных резисторов

**Таблица В.1** – Емкостные токи присоединений секции шин 6 кВ ПС 110/10/6 кВ

| № ячейки | Присоединение | Марка, сечение кабеля | Длина, м | Уд. емкость, мкФ/км | Емкость, мкФ | Емкостной ток, А | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| яч.4 | РП 2 ввод I | АСБ 2(3х95) | 2500 | 0,247 | 1,235 | 4,03 | 6,0 |
| | РП 2 яч.2 | ААШВ 3х70 | 400 | 0,214 | 0,086 | 0,28 | |
| | РП 2 яч.4 | ААШВ 3х185 | 1520 | 0,343 | 0,521 | 1,70 | |
| яч.6 | РП 3 ввод I | АСБ 3(3х150) | 4000 | 0,311 | 3,73 | 12,2 | 14,5 |
| | РП 3 яч.2 | АСБГ 3х120 | 2500 | 0,278 | 0,695 | 2,26 | |
| яч.8 | РП 4 ввод I | АСБ 3(3х95) | 850 | 0,247 | 0,630 | 2,06 | 6,6 |
| | РП 4 яч.2 | АСБ 3х120 | 1700 | 0,278 | 0,47 | 1,54 | |
| | РП 4 яч.4 | ААшВ 3х185 | 2700 | 0,343 | 0,93 | 3,0 | |

Защиты присоединений должны быть отстроены от максимального собственного емкостного тока. Ток срабатывания защиты определяется по выражению:

$$I_{\text{СЗ}} \geq k_{\text{Н}} \cdot k_{\text{БР}} \cdot I_{C\text{фид.max}}, \text{ А} \qquad \text{(В.13)}$$

где $k_{\text{Н}}$ =1,2 – коэффициент надежности;

$k_{\text{БР}}$ = 1,5-2,0 – для микропроцессорных защит.

При ремонте 1-й секции 6 кВ ПС 110/10/6 кВ, или выходе из строя питающего кабеля 1-й секции любой РП (ввод I) возможно включение секционного выключателя на любом питаемом РП (в зависимости от того, на какую РП отключился ввод I). В таком случае емкостный ток питающей линии «ввод II» 2-й секции каждой РП возрастет. Пусть схема сети 6 кВ (рис. В1) симметрична: питание потребителей от разных секций ПС и каждой РП происходит по абсолютно одинаковым линиям. В таком случае при расчете уставок ненаправленной защиты, для отстройки от собственных емкостных токов линий, нужно учесть, что к ёмкостному току каждого фидера «ввод II» добавятся емкостные токи КЛ, отходящих от 1-й секции каждой питаемой РП (см. таблицу В.2). Таким образом, полагаем, что 1-я и 2-я секции каждой РП в аварийной схеме объединены и питаются от 2-й секции 6 кВ ПС110/10/6 кВ по вводам II.

По заданному коэффициенту чувствительности можно определить требуемый активный ток резистора:

$k_{\text{ч}} \geq 1{,}5$ – для защит кабельных линий.

Активный ток резистора определяется по условию обеспечения требуемой чувствительности в наиболее тяжелом (например, ремонтном) режиме работы подстанции. Таким режимом, при малом числе присоединений секции шин, является режим наличия только защищаемого присоединения и резистора. Ток резистора определится по выражению:

$$I_R = I_{\text{СЗ}} \cdot k_{\text{ч}} \qquad \text{(В.14)}$$

Исходя из условий задачи, минимальный ток резистора должен составлять не менее 45,3 А, что для сети 6 кВ соответствует резистору с номиналом 76,5 Ом. Тогда для заземления нейтрали можно использовать резистор номиналом 70 Ом с $I_{R\text{ном}}$ = 49,5 А (например, РЗ2-70-6, см. таблицу Г.5 Приложения Г).

**Таблица В.2** – Токи резисторов и токи срабатывания защит

| № ячейки | ПС № О-2 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $I_C$, А | $I_{C.\text{рем}}$, А | $I_{\text{СЗ.расч}}$, А | $I_{\text{СЗрем}}$, А | $I_{R.\text{рем}}$, А | $I_{\text{СЗ}}$, А |
| яч.4 | 6,0 | 7,98 | 10,8 | 14,4 | 21,6 | **15** |
| яч.6 | 14,5 | 16,8 | 26,1 | 30,2 | **45,3** | **30,5** |
| яч.8 | 6,6 | 11,1 | 11,88 | 20,0 | 30,0 | **20** |

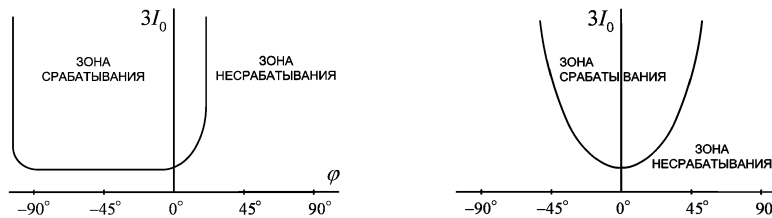
**Примечание:** для защит с выдержкой времени $k_{\text{БР}}$ может быть принят равным 1, что для данного расчетного случая позволило бы снизить требуемый активный ток резистора до $I_R$ = 30,2 А, а сопротивление увеличить до $R$ = 114 Ом. Ближайший меньший типовой номинал резистора, удовлетворяющий таким условиям – 100 Ом ($I_{\text{R}}$ = 34,6 А), резистор типа РЗ2-100-6 (см. таблицу Г.5 Приложения Г).

При этом защиты питающихся от подстанции РП 6 кВ имели бы выдержку времени 0,5 секунды, а защиты рассматриваемой подстанции – 1,0 секунду.

Отметим, что пуск защит по напряжению нулевой последовательности позволит не отстраиваться от небалансов ТТНП, возникающих при междуфазных коротких замыканиях.

### В.2 Расчет уставок направленных токовых защит нулевой последовательности

Направленные токовые защиты, реагирующие на составляющую промышленной частоты тока нулевой последовательности, с фазовыми характеристиками двух типов, изображены на рисунке В.2.




а) характеристика первого типа б) характеристика второго типа

**Рисунок В.2** – Фазовые характеристики направленных токовых защит от ОЗЗ, применяемых в сети с резистивным заземлением нейтрали

Фазовой характеристикой первого типа (рисунок В.2а) обладает ряд защит по коду *ANSI* 67*N*/67*NS*. Такие защиты реагируют как на активную, так и на ёмкостную составляющие токов ОЗЗ. Фазовой характеристикой второго типа (рисунок В.2б) обладают защиты, реагирующие только на активную составляющую тока нулевой последовательности. Далее рассматривается выбор уставок применительно к характеристике на рисунке В.2а.

При выборе типа защиты следует иметь в виду следующее:

– характеристика первого типа обеспечивает работоспособность защиты от ОЗЗ при наличии в сети заземляющего резистора и при работе сети в режиме изолированной нейтрали;

– характеристика второго типа обеспечивает работоспособность защиты от ОЗЗ только при использования заземляющего резистора. При

выходе заземляющего резистора из строя сеть остаётся без защиты от ОЗЗ. Применение таких защит целесообразно в сети, оснащенной заземляющими резисторами, способными длительное время находиться в режиме ОЗЗ (например, типа РЗ). Защиты такого рода следует применять с кабельными ТТНП, не дающими значительных угловых погрешностей.

На рисунке В.3 представлена характеристика реле защиты, соответствующая изображённой на рисунке В2а.

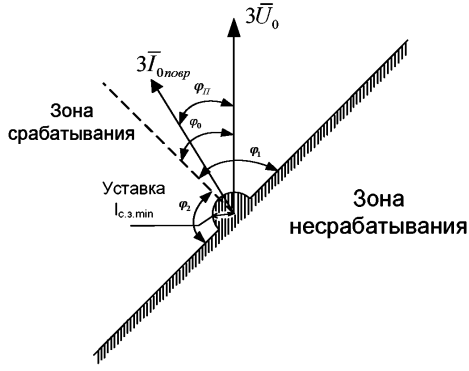



**Рисунок В.3** – Характеристика реле направленной защиты от ОЗЗ с фазовой характеристикой первого типа

Выбор уставки по току срабатывания защиты $I_{СЗmin}$ выполняется следующим образом. Минимальный ток срабатывания направленных токовых защит не требуется отстраивать от ёмкостного тока защищаемого присоединения $I_{0ПОВР}$ при внешнем ОЗЗ (см. рисунок В3). Его надо отстраивать от суммарного максимального тока небаланса $I_{нб\Sigma}$, который может протекать по рассматриваемому устройству защиты при внешнем ОЗЗ и вектор которого может располагаться в пределах зоны срабатывания защиты:

$$I_{СЗmin} = k_Н I_{НБ\Sigma}, \qquad (В.15)$$

где $k_Н$ – коэффициент запаса, значение которого равно 1,2 (для микропроцессорных терминалов допускается $k_н$=1,1-1,15);

$I_{НБ\Sigma}$ - суммарный максимальный ток небаланса.

В процессе проектирования защиты кабельной линии для обеспечения необходимой чувствительности уставку защиты $I_{СЗmin}$ определяют по следующей формуле:

$$I_{СЗmin} = \frac{I_R}{k_{Чнорм}}, \quad (В.16)$$

где $I_R$ – ток резистора при металлическом ОЗЗ;

$k_{Чнорм}$ = 1,5–2,0 – нормируемый коэффициент чувствительности.

Для обеспечения необходимой чувствительности защиты при выходе из строя заземляющего резистора следует дополнительно к (В.16) обеспечить справедливость условия

$$I_{СЗmin} = \frac{I^I_{сΣ}}{k_{Чнорм}}, \quad (В.17)$$

где $I^I_{СΣ}$ – суммарный минимальный ёмкостный ток сети за вычетом ёмкостного тока защищаемого присоединения.

Из двух полученных по (В.16) и (В.17) значений $I_{СЗmin}$, необходимо принять меньшее.

### В.3 Выбор уставок по напряжению и времени срабатывания направленных токовых защит

**По напряжению.** Небаланс по напряжению нулевой последовательности $3\overline{U}_{0неб}$ как правило не превышает значение 2,5 В. Поэтому напряжение срабатывания защиты необходимо принимать $U_{СЗmin}$ = от 5 до 7,5 В. Рассматриваемое устройство защиты от ОЗЗ будет чувствительнее стандартных устройств сигнализации по $3U_0$, имеющих уставку порядка 20 В.

**По времени.** Время срабатывания защиты $t_{СЗ\text{-}ПР}$ присоединения определяется несколькими факторами: видом силовой установки, наличием распределительных пунктов или подстанций, питающихся от шин и т.д.

Варьируется выдержка времени срабатывания защиты:

– постоянная выдержка времени, не зависящая от входных сигналов защиты;

– «токо-зависимая» выдержка времени.

Направленные защиты от ОЗЗ, не имеющие выдержки времени, или с выдержкой времени $\Delta t$=0,1÷0,2 с в бóльшей степени подвержены действию помех в переходных режимах, чем защиты с выдержкой времени $\Delta t$=0,5÷2,0 с.

На рисунке В.4 изображена токо-зависимая выдержка времени, повышающая селективность защиты. При ОЗЗ по повреждённому присоединению протекает сумма ёмкостных токов всех присоединений и ток заземляющего резистора $3I^{II}_0$. Если на защитах всех присоединений установлена одинаковая токо-зависимая характеристика, то защита повреждённого присоединения с большим током ОЗЗ сработает раньше (с выдержкой времени $t_2$) и подействует на его отключение, в то время как защита других, неповреждённых присоединений (с выдержкой времени $t_1$) работать не будет.

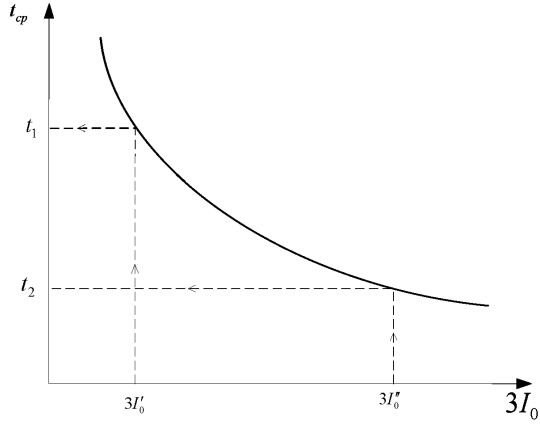



**Рисунок В.4** – Обратно-зависимая характеристика выдержки времени $t_{СЗ}$ защиты от тока ОЗЗ

Время срабатывания защиты отходящего присоединения принимается на ступень селективности больше максимального времени срабатывания защит от ОЗЗ присоединений, отходящих от шин питаемого РП.

$$t_{СЗ} = t_{СЗ\text{-}РПmax} + \Delta t\,, \qquad (В.18)$$

где $\Delta t$ – ступень селективности, рекомендуемые значения:

$\Delta t$=0,5 с при согласовании защиты с защитами отходящих присоединений, выполненными на электромеханических и полупроводниковых реле;

$\Delta t$=0,2÷0,3 с при согласовании защиты с защитами отходящих присоединений, выполненными на микропроцессорной элементной базе.

При отсутствии защит от ОЗЗ на смежных элементах сети уставка срабатывания защиты по времени может быть принята равной нулю. Однако может быть целесообразным введение небольшой выдержки времени порядка 0,3÷1,0 с для отстройки от переходных режимов и небалансов и повышения чувствительности защиты по току.

**Приложение Г**
(справочное)

## Технические характеристики высоковольтных резисторов для заземления нейтрали

### Г.1 Технические требования к резистивным установкам для заземления нейтрали в сетях 6-35 кВ

Резистор должен обладать минимальной индуктивностью и равномерностью рассеивания мощности составными элементами.

Термическая стойкость неотключаемых высокоомных резисторов определяется условиями охлаждения и при исполнении резистивной установки УХЛ1 по ГОСТ 15150 время работы такого резистора в общем случае не ограничивается.

Время термической стойкости отключаемых (низкоомных) резисторов определяется их паспортными данными, предоставляемыми заводом-изготовителем, но должно составлять не менее 5–10 с.

Работоспособность резистора независимо от его исполнения в переходных режимах работы установки (нормальный и аварийный режим работы: перегрузка, пуск, самозапуск двигателей) и эффективность защиты от перенапряжений при замыканиях на землю обеспечивается правильным выбором типа и номинала резистора и подтверждается расчетами.

Основные технические характеристики резисторов для заземления нейтрали приведены в таблицах Г.1 – Г.13. Данные характеристики должны быть уточнены при заказе у завода-изготовителя.

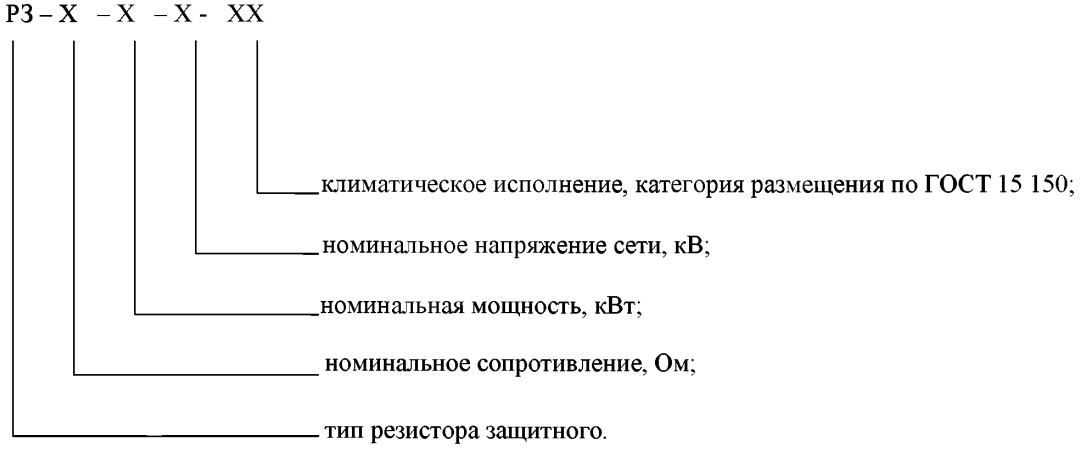
### Г.2 Высокоомные резисторы РЗ

Резисторы присоединяются к нейтрали трехфазной сети класса напряжения 6, 10 кВ через трансформаторы с выведенной нейтралью или силовые фильтры нулевой последовательности.

Резистор защитный типа РЗ для сети 6, 10 кВ предназначен для защиты сетевого оборудования от перенапряжений, возникающих при однофазных дуговых замыканиях на землю и феррорезонансных явлениях, путем заземления нейтрали в сети с номинальным напряжением 6, 10 кВ.

При формировании заказа указывать название резистора в соответствии со схемой и техническими характеристиками.

Структура условного обозначения резистора РЗ:




**Пример записи при заказе:** резистор защитный типа РЗ для заземления нейтрали с номинальным сопротивлением 1000±10% Ом, мощностью 34 кВт, устанавливаемый в сети с номинальным напряжением 10 кВ, климатическое исполнение УХЛ, категория 1 по ГОСТ 15 150.

*РЗ–1000–34–10–УХЛ1*

Технические характеристики резисторов типа РЗ приведены в таблицах Г.1-Г.2.

**Таблица Г.1** – Основные технические характеристики резисторов типа РЗ на напряжение 6 кВ

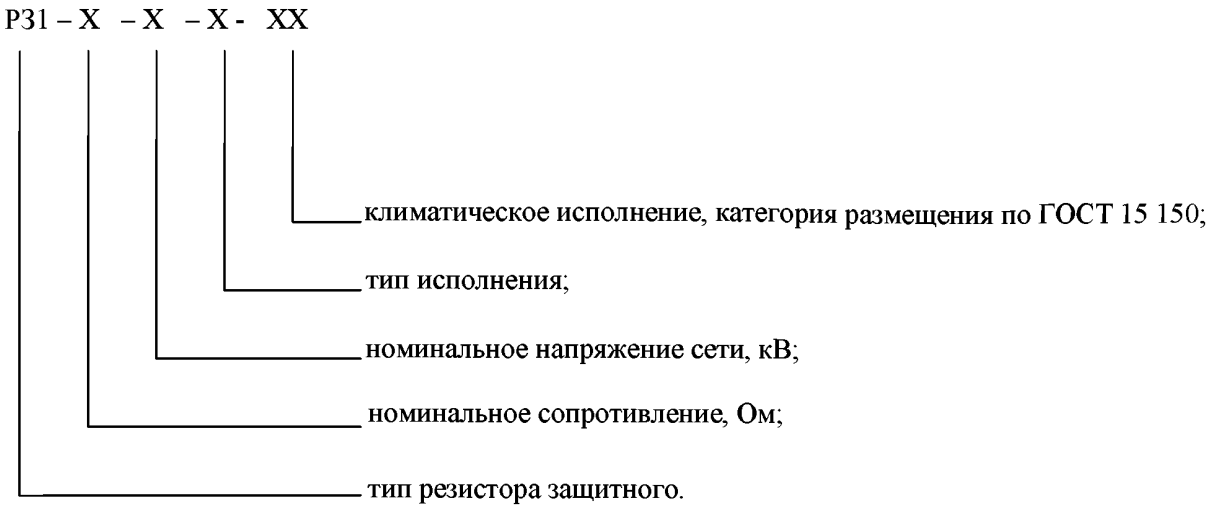
| ***R*, Ом** | **Мощность резистора, не более, кВт** | **Кол-во блоков** | **Число элементов РЗ** | **Сборочный чертеж** |
|---|---|---|---|---|
| 300 | 40 | 3 | 3х15 | БОЛИД 3.908.000 |
| 400 | 30 | 2 | 2х17 | БОЛИД 3.905.000-01 |
| 500 | 24 | 2 | 2х15 | БОЛИД 3.905.000 |
| 600 | 20 | 1 | 24 | БОЛИД 3.903.000-03 |
| 700 | 17 | 1 | 20 | БОЛИД 3.903.000-02 |
| 800 | 15 | 1 | 17 | БОЛИД 3.903.000-01 |
| 900-1500 | 14-8 | 1 | 15 | БОЛИД 3.903.000 |
| 1600-3000 | 7,5-4,0 | 1 | 30 | БОЛИД 3.903.000-04 |

**Таблица Г.2** – Основные технические характеристики резисторов типа РЗ на напряжение 10 кВ

| ***R*, Ом** | **Мощность резистора, не более, кВт** | **Кол-во блоков** | **Число элементов РЗ** | **Сборочный чертеж** |
|---|---|---|---|---|
| 500 | 67 | 3 | 3х24 | БОЛИД 3.908.000-03 |
| 600 | 56 | 2 | 2х30 | БОЛИД 3.905.000-04 |
| 700-800 | 48-42 | 2 | 2х24 | БОЛИД 3.905.000-03 |
| 900-1000 | 37-34 | 2 | 2х20 | БОЛИД 3.905.000-02 |
| 1200-1300 | 28-26 | 1 | 30 | БОЛИД 3.903.000-04 |
| 1400-1700 | 24-21 | 1 | 24 | БОЛИД 3.903.000-03 |
| 1800-2000 | 19-17 | 1 | 20 | БОЛИД 3.903.000-02 |
| 2100-2200 | 16-15 | 1 | 17 | БОЛИД 3.903.000-01 |
| 2300-2500 | 15-13,5 | 1 | 20 | БОЛИД 3.903.000-02 |
| 2600-3000 | 13-11 | 1 | 24 | БОЛИД 3.903.000-03 |
| 3100-3500 | 10,7-9,5 | 1 | 30 | БОЛИД 3.903.000-04 |

### Г.3 Низкоомные резисторы РЗ1

Резистор защитный типа РЗ1 для КРУ в сети 6, 10, 35 кВ предназначен для заземления нейтрали сетей 6, 10, 35 кВ с целью ограничения перенапряжений при однофазных дуговых замыканиях, устранения феррорезонансных явлений и обеспечения селективной работы релейной защиты, а также для комплектования резистивных установок различного назначения. Климатическое исполнение УХЛ и Т категория 2, 3 по ГОСТ 15150. Структура условного обозначения резистора для заземления нейтрали:




**Пример записи при заказе:** резистор защитный типа РЗ1 для заземления нейтрали с номинальным сопротивлением 150±10% Ом, устанавливаемый в сети с номинальным напряжением 10 кВ, тип исполнения А, климатическое исполнение УХЛ, категория 2 по ГОСТ 15 150.

*РЗ1–150–10–А–УХЛ2*

Технические характеристики резисторов типа РЗ1 приведены в таблице Г.3.

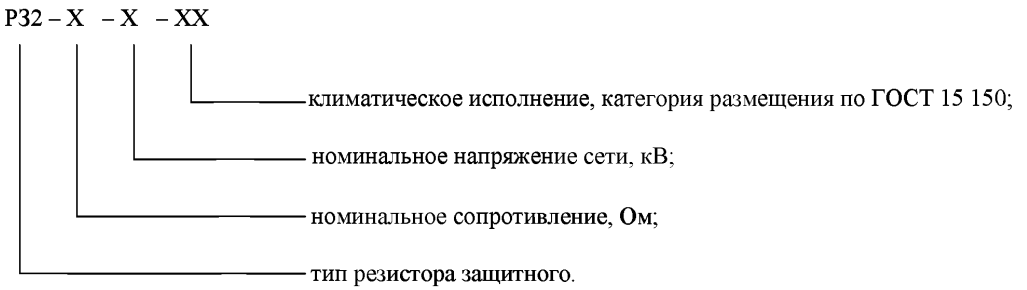
**Таблица Г.3** – Основные технические характеристики резисторов типа РЗ1 на напряжение 6-10 кВ

| **Тип резистора** | $U_{ном}$, **кВ** | **Номинальный ток резистора, А** | **Номинальное рабочее время, с** | **Номинальное сопротивление резистора $R_{ном}$, Ом** | **Ток резистора, А** | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | **1 час** | **длительно** |
| РЗ1-100-6-А | 6 | 34,6 | 16 | 100 | 4,6 | 3,6 |
| РЗ1-200-6-А | 6 | 17,3 | 33 | 200 | 3,2 | 2,5 |
| РЗ1-300-6-А | 6 | 11,6 | 50 | 300 | 2,7 | 2,1 |
| РЗ1-400-6-А | 6 | 8,7 | 65 | 400 | 2,3 | 1,8 |
| РЗ1-500-6-А | 6 | 6,9 | 80 | 500 | 2,1 | 1,6 |
| РЗ1-120-10-А | 10 | 48,1 | 10 | 120 | 5 | 3,9 |
| РЗ1-150-10-А | 10 | 38,5 | 12 | 150 | 4,5 | 3,5 |
| РЗ1-200-10-А | 10 | 28,9 | 17 | 200 | 3,9 | 3 |
| РЗ1-300-10-А | 10 | 19,3 | 25 | 300 | 3,2 | 2,5 |
| РЗ1-360-10-А | 10 | 16 | 31 | 360 | 2,9 | 2,2 |
| РЗ1-500-10-А | 10 | 11,6 | 43 | 500 | 2,5 | 1,9 |
| РЗ1-1000-10-А | 10 | 5,8 | 85 | 1000 | 1,7 | 1,3 |
| РЗ1-1500-10-А | 10 | 3,9 | 120 | 1500 | 1,4 | 1,1 |

### Г.4 Низкоомные резисторы РЗ2

Резисторы защитные типа РЗ-2, предназначенные для заземления нейтрали сетей 6-10 кВ с целью обеспечения селективной работы релейной защиты, а также ограничения перенапряжений при однофазных дуговых замыканиях и устранения феррорезонансных явлений. Климатическое исполнение УХЛ категория 1 по ГОСТ 15150.

Структура условного обозначения резистора для заземления нейтрали:




**Пример записи при заказе:** резистор защитный типа РЗ-2 для заземления нейтрали с номинальным сопротивлением 100±10% Ом, устанавливаемый в сети с номинальным напряжением 10 кВ, тип исполнения А, климатическое исполнение УХЛ, категория 1 по ГОСТ 15 150.

*РЗ-2–100–10–УХЛ1*

Технические характеристики резисторов типа РЗ2 приведены в таблице Г.4.

**Таблица Г.4** – Основные технические характеристики резисторов типа РЗ2 на напряжение 6-10 кВ

| Тип резистора | Номинальное сопротивление, Ом | $U_{ном}$, кВ | Ток, А | | | Номинальное время работы в режиме ОЗЗ, с |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Номинальный | 1 час | длительно | |
| РЗ 2-15-6* | 15 | 6 | 230,9 | 14,1 | 11,0 | 43 |
| РЗ 2-20-6 | 20 | 6 | 173,2 | 12,2 | 9,5 | 38 |
| РЗ 2-30-6* | 30 | 6 | 115,5 | 14,1 | 11,0 | 22 |
| РЗ 2-40-6 | 40 | 6 | 86,6 | 12,2 | 9,5 | 19 |
| РЗ 2-50-6 | 50 | 6 | 69,3 | 11,0 | 8,5 | 24 |
| РЗ 2-60-6 | 60 | 6 | 57,7 | 10,0 | 7,7 | 29 |
| РЗ 2-70-6 | 70 | 6 | 49,5 | 9,3 | 7,2 | 34 |
| РЗ 2-80-6 | 80 | 6 | 43,3 | 8,7 | 6,7 | 38 |
| РЗ 2-90-6 | 90 | 6 | 38,5 | 8,2 | 6,3 | 43 |
| РЗ 2-100-6 | 100 | 6 | 34,6 | 7,7 | 6,0 | 48 |
| РЗ 2-125-6 | 125 | 6 | 27,7 | 6,9 | 5,4 | 60 |
| РЗ 2-150-6 | 150 | 6 | 23,1 | 6,3 | 4,9 | 72 |
| РЗ 2-175-6 | 175 | 6 | 19,8 | 5,9 | 4,5 | 84 |
| РЗ 2-200-6 | 200 | 6 | 17,3 | 5,5 | 4,2 | 96 |
| РЗ 2-225-6 | 225 | 6 | 15,4 | 5,2 | 4,0 | 108 |
| РЗ 2-250-6 | 250 | 6 | 13,9 | 4,9 | 3,8 | 120 |
| РЗ 2-15-10* | 15 | 10 | 384,9 | 54,8 | 42,4 | 19 |
| РЗ 2-20-10* | 20 | 10 | 288,7 | 38,7 | 30,0 | 17 |
| РЗ 2-30-10* | 30 | 10 | 192,5 | 27,4 | 21,2 | 19 |
| РЗ 2-40-10* | 40 | 10 | 144,3 | 12,2 | 9,5 | 21 |
| РЗ 2-50-10* | 50 | 10 | 115,5 | 11,0 | 8,5 | 13 |
| РЗ 2-50-10* | 50 | 10 | 115,5 | 11,0 | 8,5 | 17 |
| РЗ 2-60-10 | 60 | 10 | 96,2 | 10,0 | 7,7 | 16 |
| РЗ 2-70-10 | 70 | 10 | 82,5 | 9,3 | 7,2 | 18 |
| РЗ 2-80-10 | 80 | 10 | 72,2 | 8,7 | 6,7 | 14 |
| РЗ 2-90-10 | 90 | 10 | 64,2 | 8,2 | 6,3 | 16 |
| РЗ 2-100-10 | 100 | 10 | 57,7 | 7,7 | 6,0 | 17 |
| РЗ 2-125-10 | 125 | 10 | 46,2 | 6,9 | 5,4 | 22 |
| РЗ 2-150-10 | 150 | 10 | 38,5 | 6,3 | 4,9 | 26 |
| РЗ 2-175-10 | 175 | 10 | 33,0 | 5,9 | 4,5 | 30 |
| РЗ 2-200-10 | 200 | 10 | 28,9 | 5,5 | 4,2 | 35 |
| РЗ 2-225-10 | 225 | 10 | 25,7 | 5,2 | 4,0 | 39 |
| РЗ 2-250-10 | 250 | 10 | 23,1 | 4,9 | 3,8 | 43 |

Примечание:

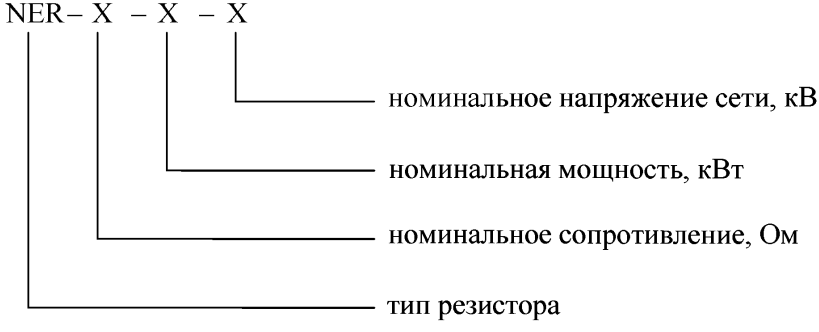
* – конструкция с толстой плиткой

**Г.5 Резисторы NER 6-35 кВ**

**Типовая серия резисторов:**

- номинальное напряжение сети 6, 10, 15, 20, 35 кВ;
- номинальный ток от 1 до 2000 А (в том числе нестандартные значения по заказу потребителя);
- время работы в режиме с однофазным замыканием в сети от нескольких секунд до неограниченно длительного;
- диапазон рабочих температур от -60°С до +40°С;
- исполнение для наружной (внутренней) установки;
- высота установки над уровнем моря не более 1000 м.

Расшифровка обозначения резисторов:




Технические характеристики высокоомных резисторов типа NER приведены в таблицах Г.5и Г.6.

Технические характеристики низкоомных резисторов типа NER приведены в таблицах Г.7– Г.10

**Таблица Г.5** – Высокоомные резисторы для заземления нейтрали сетей 6 кВ

| Тип резистора | Номинальное активное сопротивление, Ом | Номинальная мощность, кВт | Номинальный ток резистора, А | Допустимое время протекания номинального тока, с |
|---|---|---|---|---|
| NER-300-40-6 | 300 | 40 | 11,5 | длительно |
| NER-400-30-6 | 400 | 30 | 8,7 | длительно |
| NER-500-24-6 | 500 | 24 | 7 | длительно |
| NER-600-20-6 | 600 | 20 | 5,8 | длительно |
| NER-700-18-6 | 700 | 18 | 5 | длительно |
| NER-800-15-6 | 800 | 15 | 4,3 | длительно |
| NER-1000-12-6 | 1000 | 12 | 3,5 | длительно |
| NER-1700-7-6 | 1700 | 7 | 2 | длительно |
| NER-2000-6-6 | 2000 | 6 | 1,7 | длительно |

**Таблица Г.6** – Высокоомные резисторы для заземления нейтрали сетей 10 кВ

| Тип резистора | Номинальное активное сопротивление, Ом | Номинальная мощность, кВт | Номинальный ток резистора, А | Допустимое время протекания номинального тока, с |
|---|---|---|---|---|
| NER-500-67-10 | 500 | 67 | 11,5 | длительно |
| NER-600-56-10 | 600 | 56 | 9,6 | длительно |
| NER-700-48-10 | 700 | 48 | 8,2 | длительно |
| NER-800-42-10 | 800 | 42 | 7 | длительно |
| NER-900-37-10 | 900 | 37 | 6,4 | длительно |
| NER-1000-34-10 | 1000 | 34 | 5,8 | длительно |
| NER-1200-28-10 | 1200 | 28 | 4,8 | длительно |
| NER-1500-23-10 | 1500 | 23 | 3,8 | длительно |
| NER-3000-12-10 | 3000 | 12 | 2 | длительно |

**Таблица Г.7** – Низкоомные резисторы для заземления нейтрали сетей 6 кВ

| Тип резистора | Номинальное активное сопротивление, Ом | Номинальная мощность, кВт | Номинальный ток резистора, А | Допустимое время протекания номинального тока, с |
|---|---|---|---|---|
| NER-3,5-3500-6 | 3,5 | 3500 | 1000 | 5 (10) |
| NER-9-1440-6 | 9 | 1440 | 400 | 5 (10) |
| NER-11,5-1038-6 | 11,5 | 1038 | 300 | 5 (10) |
| NER-18-727-6 | 18 | 727 | 200 | 5 (10) |
| NER-36-363-6 | 36 | 363 | 100 | 5 (10) |
| NER-91-146-6 | 91 | 146 | 40 | 5 (10) |
| NER-182-73-6 | 182 | 73 | 20 | 5 (10) |

**Таблица Г.8 –** Низкоомные резисторы для заземления нейтрали сетей 10 кВ

| Тип резистора | Номинальное активное сопротивление, Ом | Номинальная мощность, кВт | Номинальный ток резистора, А | Допустимое время протекания номинального тока, с |
|---|---|---|---|---|
| NER-5,8-5800-10 | 5,8 | 5800 | 1000 | 5 (10) |
| NER-14,4-2310-10 | 14,4 | 2310 | 400 | 5 (10) |
| NER-19,2-1731-10 | 19,2 | 1731 | 300 | 5 (10) |
| NER-29-1160-10 | 29 | 1160 | 200 | 5 (10) |
| NER-58-580-10 | 58 | 580 | 100 | 5 (10) |
| NER-150-240-10 | 150 | 240 | 40 | 5 (10) |
| NER-290-116-10 | 290 | 116 | 20 | 5 (10) |

**Таблица Г.9 –** Низкоомные резисторы для заземления нейтрали сетей 20 кВ

| Тип резистора | Номинальное активное сопротивление, Ом | Номинальная мощность, кВт | Номинальный ток резистора, А | Допустимое время протекания номинального тока, с |
|---|---|---|---|---|
| NER-11,5-11500-20 | 11,5 | 11500 | 1000 | 5 (10) |
| NER-23-5750-20 | 23 | 5750 | 500 | 5 (10) |
| NER-58-2320-20 | 58 | 2320 | 200 | 5 (10) |

**Таблица Г.10 –** Низкоомные резисторы для заземления нейтрали сетей 35 кВ

| Тип резистора | Номинальное активное сопротивление, Ом | Номинальная мощность, кВт | Номинальный ток резистора, А | Допустимое время протекания номинального тока, с |
|---|---|---|---|---|
| NER-20-20000-35 | 20 | 20000 | 1000 | 5 (10) |
| NER-25-16000-35 | 25 | 16000 | 800 | 5 (10) |
| NER-35-12600-35 | 35 | 12600 | 600 | 5 (10) |
| NER-50-8000-35 | 50 | 8000 | 400 | 5 (10) |
| NER-68-6120-35 | 68 | 6120 | 300 | 5 (10) |
| NER-100-4000-35 | 100 | 4000 | 200 | 5 (10) |
| NER-200-2000-35 | 200 | 2000 | 100 | 5 (10) |

## Г.6 Комплектные устройства резистивного заземления нейтрали NERC сетей 6-35 кВ

Устройства резистивного заземления нейтрали предназначены для организации резистивного заземления нейтрали в сетях 6-35 кВ, в которых нейтральная точка отсутствует (обмотки 6-35 кВ силового питающего трансформатора соединены в треугольник).

**Конструкция:**

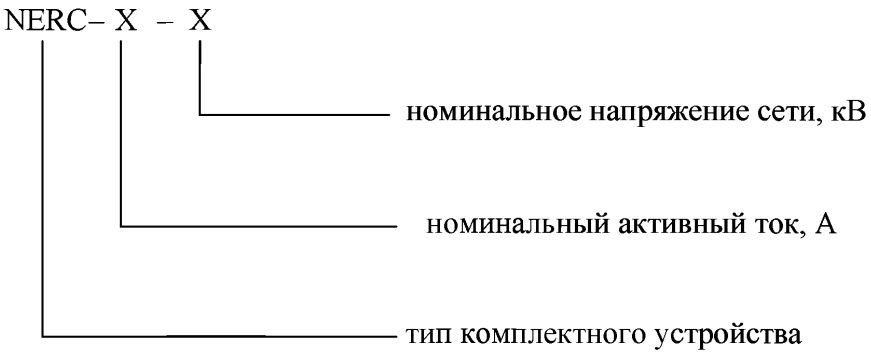
Устройство резистивного заземления нейтрали NERC представляет собой шкаф из оцинкованной (или нержавеющей) стали, в котором размещены трансформатор вывода нейтрали (фильтр нулевой последовательности с обмотками 6-20 кВ с сухой изоляцией, соединенными в зигзаг), высоковольтный резистор и трансформатор тока. Шкаф имеет съемные опорные катки для перемещения. Ввод кабеля в шкаф выполняется снизу через сальники (возможен ввод сверху через проходные изоляторы).

Устройство резистивного заземления нейтрали NERC подключается к сети через линейную ячейку КРУ 6-10 кВ со стандартным набором релейных защит (МТЗ, отсечка, защита от замыканий на землю).

Типовая серия устройств для резистивного заземления нейтрали

- номинальное напряжение сети 6, 10, 20, 35 кВ;
- номинальный ток от 40 до 1000 А (в том числе нестандартные значения по заказу потребителя);
- время работы в режиме с однофазным замыканием в сети от 5 до 10 секунд;
- диапазон рабочих температур от -25°С до +40°С;
- исполнение для внутренней (наружной) установки;
- высота установки над уровнем моря не более 1000 м.

Расшифровка обозначения комплектных устройств для резистивного заземления нейтрали:




Технические характеристики устройств NERC приведены в таблицах Г.11–Г.13.

**Таблица Г.11** – Комплектные устройства резистивного заземления нейтрали для сетей 6 кВ

| **Тип устройства резистивного заземления** | **Номинальное сопротивление, Ом** | **Номинальное напряжение сети, кВ** | **Номинальный ток резистора, А** | **Допустимое время протекания номинального тока, с** |
|---|---|---|---|---|
| NERC-40-6 | 91 | 6 | 40 | 10 |
| NERC-100-6 | 36,3 | 6 | 100 | 10 |
| NERC-200-6 | 18,2 | 6 | 200 | 10 |
| NERC-400-6 | 9,1 | 6 | 400 | 10 |

**Таблица Г.12** – Комплектные устройства резистивного заземления нейтрали для сетей 10 кВ

| **Тип устройства резистивного заземления** | **Номинальное сопротивление, Ом** | **Номинальное напряжение сети, кВ** | **Номинальный ток резистора, А** | **Допустимое время протекания номинального тока, с** |
|---|---|---|---|---|
| NERC-40-10 | 152 | 10 | 40 | 10 |
| NERC-100-10 | 61 | 10 | 100 | 10 |
| NERC-200-10 | 30,3 | 10 | 200 | 10 |
| NERC-400-10 | 15,2 | 10 | 400 | 10 |

**Таблица Г.13** – Комплектные устройства резистивного заземления нейтрали для сетей 20 кВ

| **Тип устройства резистивного заземления** | **Номинальное сопротивление, Ом** | **Номинальное напряжение сети, кВ** | **Номинальный ток резистора, А** | **Допустимое время протекания номинального тока, с** |
|---|---|---|---|---|
| NERC-40-20 | 303 | 20 | 40 | 10 |
| NERC-100-20 | 121 | 20 | 100 | 10 |
| NERC-200-20 | 61 | 20 | 200 | 10 |
| NERC-400-20 | 30,3 | 20 | 400 | 10 |
| NERC-1000-20 | 12,1 | 20 | 1000 | 2,5 (5) |

## Приложение Д
(справочное)

## Технические характеристики трансформаторов заземления нейтралей

### Д.1 Фильтры заземляющие серии ФМЗО

Подключение резистора может быть выполнено через специально устанавливаемый силовой фильтр нулевой последовательности ФМЗО, представляющий собой маслонаполненный трехфазный трансформатор, не имеющий низковольтной вторичной обмотки и с обмоткой высшего напряжения выполненной по схеме «зигзаг». Схема используется для низкоомного, высокоомного резистивного и комбинированного заземления нейтрали. Необходимые условия: схема соединения первичной обмотки звезда с нулем; проверка ФМЗО на термическую стойкость в режиме ОЗЗ.

Параметры, необходимые для выбора ФМЗО приведены в табл. Д.1

**Таблица Д.1 –** Номинальные параметры фильтров нулевой последовательности типа ФМЗО

| Тип фильтра | Номинальное напряжение, кВ | Номинальный ток, А | Максимальный ток, А | Ток ХХ, А | Потери ХХ, Вт | Напряжение КЗ, % | Потери КЗ, Вт |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ФМЗО-40/6,6 | 6,6 | 8,4 | 10,5 | 0,04 | 75 | 3 | 600 |
| ФМЗО-80/6,6 | 6,6 | 16,8 | 21 | 0,1 | 120 | 3,2 | 1200 |
| ФМЗО-200/6,6 | 6,6 | 42 | 52,2 | 0,15 | 250 | 4,2 | 3000 |
| ФМЗО-310/6,6 | 6,6 | 65,1 | 81,4 | 0,3 | 550 | 3,5 | 3500 |
| ФМЗО-500/6,6 | 6,6 | 105 | 131,2 | 0,25 | 850 | 5,5 | 5000 |
| ФМЗО-875/6,6 | 6,6 | 183,7 | 229,6 | 0,6 | 800 | 4,5 | 6000 |
| ФМЗО-40/11 | 11 | 5 | 6,3 | 0,03 | 65 | 3 | 600 |
| ФМЗО-80/11 | 11 | 10,1 | 21 | 0,1 | 120 | 3,2 | 1200 |
| ФМЗО-200/11 | 11 | 25,2 | 52,2 | 0,15 | 250 | 4,2 | 3000 |
| ФМЗО-310/11 | 11 | 39,1 | 48,9 | 0,6 | 600 | 3,6 | 3700 |
| ФМЗО-500/11 | 11 | 63 | 78,75 | 0,15 | 850 | 5,5 | 5000 |
| ФМЗО-875/11 | 11 | 110 | 137,7 | 0,35 | 800 | 4,5 | 6000 |
| Примечание: При температуре окружающего воздуха не более +40 0С, допускаются следующие нагрузки фильтра:<br>в течение 6 часов - 100 % (номинальный ток);в течение 2 часов - 120 % (перегрузка 20 %). | | | | | | | |

**Д.2 Фильтры заземляющие серии ФЗМ**

Фильтры заземляющие предназначены для подключения дугогасящих реакторов соответствующей мощности к трехфазным сетям 6-10 кВ.

**Структура условного обозначения ФЗМ-Х/Х-У1:**

Ф – фильтр;

З – заземляющий;

М – естественная циркуляция воздуха и масла;

Х – мощность при номинальном напряжении и токе шестичасовой нагрузки, кВ·А;

Х – класс напряжения, кВ;

У1 – климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150-69.

**Пример записи обозначения реактора:** ФЗМ-300/6 У1

Фильтры предназначены для работы в длительном режиме при номинальных значениях тока и напряжения и не более 6 часов при токах от номинального до тока шестичасовой нагрузки и номинальном или наибольшем рабочем напряжении. Интервалы между включениями в режим шестичасовой нагрузки не менее 12 часов при общей годовой наработке 600 часов.

Допуск на значение номинального тока – ± 8%. Допуск на значение тока шестичасовой нагрузки – минус 8%.

Типы и основные параметры фильтров серии ФЗМ приведены в таблице Д.2.

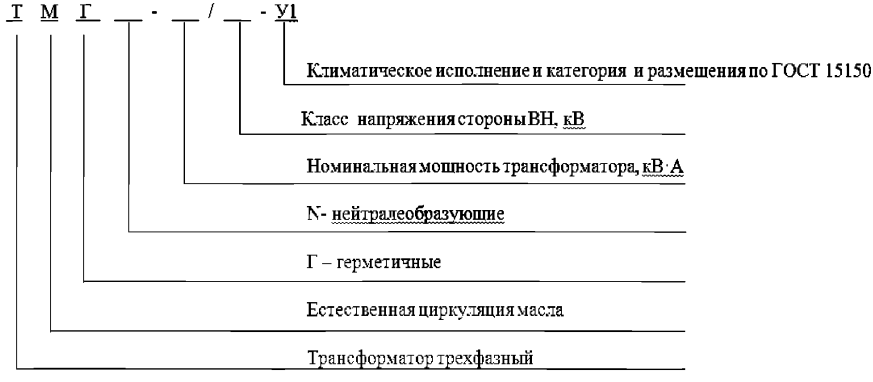
**Таблица Д.2** – Типы и номинальные параметры фильтров нулевой последовательности серии ФЗМ

| Тип | Номинальное напряжение, кВ | Наибольшее рабочее напряжение, кВ | Номинальный ток, А | Ток 6-часовой нагрузки, А | Ток холостого хода, % к 1/3 номинального тока нейтрали | Потери холостого хода, Вт | Напряжение короткого замыкания, % | Потери короткого замыкания, Вт | Масса, кг | Длина (L) х ширина (B) х высота (H), мм |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ФЗМ-120/6 У1 | 6,6/√3 | 7,2/√3 | 20 | 27 | 1,9 | 410 | 2,0 | 780 | 1345 | 1157x1256x1600 |
| ФЗМ-300/6 У1 | 6,6/√3 | 7,2/√3 | 65 | 87 | 1,33 | 550 | 2,5 | 2400 | 1553 | 1157x1256x1600 |
| ФЗМ-500/6 У1 | 6,6/√3 | 7,2/√3 | 110 | 147 | 1,33 | 890 | 2,0 | 3170 | 1960 | 1245x1276x1771 |
| ФЗМ-950/6 У1 | 6,6/√3 | 7,2/√3 | 200 | 273 | 0,95 | 1350 | 2,5 | 5470 | 3322 | 1565x1336x2012 |
| ФЗМ-1200/6 У1 | 6,6/√3 | 7,2/√3 | 260 | 350 | 0,75 | 1800 | 2,0 | 6290 | 4720 | 1695x1440x2283 |
| ФЗМ-190/10 У1 | 11/√3 | 12/√3 | 20 | 27,3 | 2,6 | 600 | 2,0 | 1150 | 1441 | 1157x1256x1600 |
| ФЗМ-500/10 У1 | 11/√3 | 12/√3 | 65 | 87 | 1,1 | 890 | 2,5 | 3300 | 1967 | 1245x1276x1771 |
| ФЗМ-860/10 У1 | 11/√3 | 12/√3 | 110 | 147 | 1,0 | 1360 | 2,5 | 4600 | 3320 | 1565x1336x2012 |
| ФЗМ-1600/10 У1 | 11/√3 | 12/√3 | 200 | 273 | 0,95 | 2280 | 2,5 | 7030 | 4755 | 1695x1440x2283 |
| ФЗМ-2000/10 У1 | 11/√3 | 12/√3 | 260 | 350 | 0,5 | 2670 | 2,5 | 8670 | 5770 | 1775x1450x2502 |

### Д.3 Трансформаторы типа ТМГN

Трансформаторы нейтралеобразующие силовые масляные трехфазные типа ТМГN общего назначения на напряжение до 10 кВ включительно с естественным масляным охлаждением, предназначены для преобразования электроэнергии в сетях энергосистем и потребителей переменного тока частотой 50 Гц. Трансформаторы изготавливаются и поставляются в соответствии с ТУ 3411-038-71026440-2011.

**Структура условного обозначения трансформатора:**




Пример обозначения трансформаторов при заказе трансформатора герметичного исполнения специального нейтралеобразующего номинальной мощностью 200 кВ·А, номинальным напряжением 11 кВ, схемой и группой соединения $Z_{Н}$ – «Трансформатор ТМГN-200/11 – У1».

Номинальные параметры и их допустимые отклонения приведены в табл. Д3-Д4.

**Таблица Д.3 –** Номинальные параметры трансформаторов серии ТМГN

| Тип трансформатора | Мощность, кВ·А | Сочетание напряжений | | Потери, Вт | | | $U_{кз}$, % | Ток XX, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ВН | НН | XX | КЗ | Общие | | |
| ТМГN-80/6,6 ТМГN-80/11 | 80 | 6,6 11 | 0,23; 0,11 0 | 150 | 1080 | 1230 | 3,1 | 1,4 |
| ТМГN-125/6,6 ТМГN-125/11 | 125 | 6,6 11 | 0,23; 0,11 0 | 200 | 1970 | 2170 | 3,5 | 1,2 |
| ТМГN-200/6,6 ТМГN-200/11 | 200 | 6,6 11 | 0,23; 0,11 0 | 230 | 2650 | 2880 | 4.1 | 1,1 |
| ТМГN-310/6,6 ТМГN-310/11 | 310 | 6,6 11 | 0,23; 0,11 0 | 520 | 3200 | 3720 | 3,4 | 1,3 |
| ТМГN-500/6,6 ТМГN-500/11 | 500 | 6,6 11 | 0,23; 0,11 0 | 800 | 4900 | 5700 | 5.3 | 0,6 |
| ТМГN-800/6,6 ТМГN-800/11 | 800 | 6,6 11 | 0,23; 0,11 0 | 750 | 6000 | 7750 | 5.5 | 1 |
| ТМГN-1000/6,6 ТМГN-1000/11 | 1000 | 6,6 11 | 0,4; 0,11 0 | 1750 | 8000 | 9750 | 5,5 | 1,6 |
| ТМГN-1250/6,6 ТМГN-1250/11 | 1000 | 6,6 11 | 0,4; 0,11 0 | 2200 | 1050 | 1270 | 5,5 | 1,4 |
| ТМГN-1600/6,6 ТМГN-1600/11 | 1600 | 6,6 11 | 0,23 0,11 0 | 2400 | 12000 | 14400 | 6,5 | 1,3 |

**Таблица Д.4 –** Допустимые отклонения параметров трансформаторов серии ТМГN

| Потери XX | Потери КЗ | Суммарные потери | Ток XX | Напряжение КЗ | Коэффициент трансформации |
|---|---|---|---|---|---|
| +15% | +15% | +10% | +30% | ±10% | +0,5% |

Примечание: для трансформаторов мощностью свыше 1000 кВ·А предельные отклонения потерь короткого замыкания должны быть +10%.

### Д.4 Трансформаторы TEGE (ETR)

Фильтры (трансформаторы) масляные заземляющие нулевой последовательности TEGE (ETR) мощностью 100 – 4000 кВ·А на напряжением 6–35 кВ предназначены для вывода нейтральной точки в сетях с изолированной нейтралью и подключения к электрической сети дугогасящих реакторов или резисторов заземления нейтрали.

Фильтры (трансформаторы) TEGE (ETR) предназначены для эксплуатации:

- в районах с умеренным климатом;
- при температуре окружающего воздуха в диапазоне от –40 °С до +40 °С;
- на открытом воздухе (или внутри помещения);
- при относительной влажности воздуха до 80%;
- на высоте не выше 1000 м над уровнем моря;
- в окружающей среде, не содержащей токопроводящей пыли и агрессивных газов и паров в концентрациях, вызывающих разрушение изоляции и металлических частей.

Если заземляющий трансформатор установлен в закрытом пространстве, необходимо обеспечить достаточную циркуляцию воздуха. Необходимо обеспечить циркуляцию как минимум $4 м^3$/мин воздуха для 1 кВт рассеиваемого тепла. Величина потерь приведена в технической документации, поставляемой с заземляющим трансформатором.

Номинальные параметры фильтров TEGE(ETR) приведены в таблицах Д.5–Д.7.

**Таблица Д.5 –** Номинальные параметры фильтров TEGE(ETR) для сети 6 кВ

| № | Тип фильтра | Номинальная мощность, кВ·А | Номинальное напряжение сети, кВ | Номинальный ток нейтрали, А |
|---|---|---|---|---|
| 1 | TEGE0200 | 200 | 6 | 58 |
| 2 | TEGE0315 | 315 | 6 | 91 |
| 3 | TEGE0500 | 500 | 6 | 144 |
| 4 | TEGE0840 | 840 | 6 | 242 |
| 5 | TEGE1000 | 1000 | 6 | 289 |
| 6 | TEGE1250 | 1250 | 6 | 361 |
| 7 | TEGE1600 | 1600 | 6 | 462 |
| 8 | TEGE2000 | 2000 | 6 | 577 |

**Таблица Д.6** – Номинальные параметры фильтров TEGE(ETR) для сети 10 кВ

| № | Тип фильтра | Номинальная мощность, кВ·А | Номинальное напряжение сети, кВ | Номинальный ток нейтрали, А |
|---|---|---|---|---|
| 1 | TEGE0200 | 200 | 10 | 35 |
| 2 | TEGE0315 | 315 | 10 | 55 |
| 3 | TEGE0500 | 500 | 10 | 87 |
| 4 | TEGE0840 | 840 | 10 | 145 |
| 5 | TEGE1000 | 1000 | 10 | 173 |
| 6 | TEGE1250 | 1250 | 10 | 217 |
| 7 | TEGE1600 | 1600 | 10 | 277 |
| 8 | TEGE2000 | 2000 | 10 | 346 |

**Таблица Д.7** – Номинальные параметры фильтров TEGE(ETR) для сети 35 кВ

| № | Тип фильтра | Номинальная мощность, кВ·А | Номинальное напряжение сети, кВ | Номинальный ток нейтрали, А |
|---|---|---|---|---|
| 1 | TEGE0500 | 500 | 35 | 25 |
| 2 | TEGE0800 | 800 | 35 | 40 |
| 3 | TEGE1000 | 1000 | 35 | 50 |
| 4 | TEGE1250 | 1250 | 35 | 62 |
| 5 | TEGE1600 | 1600 | 35 | 80 |
| 6 | TEGE2000 | 2000 | 35 | 100 |
| 7 | TEGE2500 | 2500 | 35 | 124 |
| 8 | TEGE3200 | 3200 | 35 | 158 |

**Лист ознакомления**

СТО 18-2013 «Руководящие указания по выбору режима заземления нейтрали в электрических сетях напряжением 6-35 кВ» (редакция 1)

gost.e-ecolog.ru