

По материалам III Всероссийской научно-практической конференции «Режимы нейтрали. Ограничение перенапряжений. Релейная защита и автоматика». 11 – 13 апреля 2023 года, г. Екатеринбург



М. В. Ильиных



А. В. Телегин

DOI: 10.34831/EP.2023.61.70.001
УДК 621.311

Новые Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации и режимы заземления нейтрали сетей 6 – 35 кВ

ИЛЬИНЫХ М. В., ТЕЛЕГИН А. В.

ООО «Болид»

630015, г. Новосибирск, Электrozаводской пр., 1

eng@pnpbolid.com

Выбор способа заземления нейтрали во многом определяет организацию эффективной, надёжной и безопасной эксплуатации электрических сетей.

В 2022 году утверждены новые существенно переработанные Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации (ПТЭ ЭСС РФ). Они вступили в действие с 06.03.2023 г. взамен существовавшего с 2003 года подобного документа.

В статье представлено сравнение требований ПТЭ ЭСС РФ 2022 и 2003 годов в области защиты от перенапряжений и режимов заземления нейтрали сетей среднего класса напряжения.

Ключевые слова: режим заземления нейтрали, электрические сети 6 – 35 кВ, замыкание на землю, перенапряжения, технические требования.

Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ (ПТЭ ЭСС РФ) [1] наряду с Правилами устройства электроустановок седьмого издания (2003 г.) [2], РД 34.20.179 (ТИ 34-70-070–87) [3], РД 153-34.3-35.125–99 [4], отраслевыми стандартами предприятий по режимам заземления нейтрали и руководящими документами являются одним из важнейших нормативных документов в области организации режима заземления нейтрали распределительных сетей и защиты от перенапряжений.

ПТЭ ЭСС РФ [1], как и Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ ЭП) [5], актуализированы в 2022 году.

ПТЭ ЭП 2003 года [5] утратили свою силу с вступлением в действие 7 января 2023 года «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей электрической энергии» (ПТЭ ЭПЭЭ) [6]. Данные правила утверждены приказом Минэнерго РФ от 12.08.2022 г. № 811 и зарегистрированы в Минюсте РФ 07.10.2022 г. (рег. № 70433).

Согласно п. 6 данных ПТЭ ЭПЭЭ [6], если потребитель эксплуатирует объек-

ты по производству электрической энергии или объекты электросетевого хозяйства напряжением выше 0,4 кВ, то необходимо соблюдать требования Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации (ПТЭ ЭСС РФ).

Таким образом, в новых ПТЭ ЭПЭЭ полностью отсутствует Раздел 2 и, соответственно, глава «Защита от перенапряжений», ранее содержавшая требования к режиму заземления нейтрали. Вступление в силу новых ПТЭ ЭПЭЭ [6] произошло до вступления в действие новых ПТЭ ЭСС РФ, поэтому первоначально нужно было руководствоваться главой 5.11 ПТЭ ЭСС РФ [1], а затем заменяющей её 42-й главой «XLII. Требования к эксплуатации защиты от перенапряжений» новых ПТЭ ЭСС РФ.

С 06.03.2023 г. вступили в действие ПТЭ ЭСС РФ [7], утверждённые приказом Минэнерго РФ от 04.10.2022 г. № 1070 и зарегистрированные в Минюсте РФ 06.12.2022 г. № 71384 (рег. № 70433). С этой даты утрачивают силу Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации, утверждённые прика-

зом Минэнерго РФ от 19 июня 2003 г. и изменения к этому приказу [1].

Сравнительный анализ изменений требований ПТЭ ЭСС РФ в области защиты от перенапряжений и режимов заземления нейтрали сетей 6 – 35 кВ

Перейдём к рассмотрению главы 42 «XLII. Требования к эксплуатации защиты от перенапряжений» (п. 614 – 629).

Интересующие нас пункты ПТЭ ЭСС РФ 2003 [1] и 2022 [7] годов приведены ниже в сравнительной таблице (табл. 1). Внесённые изменения обозначены жирным шрифтом.

Сравнительный анализ этих документов показывает, что рассматриваемая глава почти полностью переработана.

В п. 619 для российского нормативного документа такого уровня впервые указаны цели применения высокоомного и низкоомного резистивного заземления нейтрали, средств селективного определения присоединения или его участка с однофазным замыканием на землю, условия применения высокоомного и низкоомного резистивного заземления нейтрали, выбора сопротивления высокоомного резистивного заземления. Определены границы сетей с малыми токами замыкания на землю — до 10 А. Отмечено, что при наличии кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) следует применять низкоомное резистивное заземление.

Пункт 620 — это новый пункт с указанием на необходимость применения средств селективного определения присоединения или его участка с однофазным замыканием на землю (ОЗЗ) совместно управляемыми коммутационными аппаратами, позволяющими отключить присоединение или участок присоединения с ОЗЗ.

В тексте п. 621, заменяющего п. 5.11.8, также произошли существенные изменения. Абзац «В сетях напряжением 6 – 35 кВ с ВЛ на железобетонных и металлических опорах должны использоваться дугогасящие реакторы при ёмкостном токе замыкания на землю более 10 А» был дополнен текстом «Допускается режим работы нейтрали через низкоомный резистор с отключением присоединения с однофазным замыканием на землю».

Хотелось бы отметить, что абзац «Работа сетей напряжением 6 – 35 кВ без

компенсации ёмкостного тока при его значениях, превышающих указанные выше, не допускается» входит в определённые противоречия с другими абзацами этого пункта, регламентирующими применение других способов заземления нейтрали сетей напряжения 6 – 35 кВ при превышении нормируемых значений ёмкостного тока. В последнем абзаце этого пункта «При пре-

вышении значений ёмкостного тока, указанных в настоящем пункте Правил, должно применяться заземление нейтрали посредством системы компенсации ёмкостных токов (в том числе системы полной компенсации) либо через низкоомный резистор, или проводиться деление сети на электрически несвязанные части», где также с использованием «должно применяться» указыва-

ется и на применение заземления нейтрали сети через низкоомный резистор при превышении значений ёмкостного тока, указанных ранее в этом пункте Правил.

Также в данном пункте:

– указаны дополнительные условия, когда должны проводиться измерения ёмкостных токов: «а также для сетей сложной конфигурации, когда расчёт-

Сравнительная таблица пунктов ПТЭ ЭСС РФ 2003 и 2022 годов

Таблица 1

ПТЭ ЭСС РФ 2003 г.	ПТЭ ЭСС РФ 2022 г.										
5.11. Защита от перенапряжений	XLII. Требования к эксплуатации защиты от перенапряжений										
<p>5.11.7. В сетях с изолированной нейтралью или с компенсацией ёмкостных токов допускается работа воздушных и кабельных линий электропередачи с замыканием на землю до устранения повреждения.</p> <p>При этом к отысканию места повреждения на ВЛ, проходящих в населённой местности, где возникает опасность поражения током людей и животных, следует приступать немедленно и ликвидировать повреждение в кратчайший срок.</p> <p>В сетях генераторного напряжения, а также в сетях, к которым подключены двигатели высокого напряжения, работа с замыканием на землю допускается в соответствии с п. 5.1.24 настоящих Правил.</p>	<p>619. Для уменьшения кратности перенапряжений при однофазных замыканиях на землю, организации селективной работы релейной защиты и повышения электробезопасности при замыканиях на землю в сетях с малыми токами замыкания на землю (до 10 А) должны применяться:</p> <p>высокоомное резистивное заземление нейтрали; низкоомное резистивное заземление нейтрали; средства селективного определения присоединения или его участка с однофазным замыканием на землю совместно с управляемыми коммутационными аппаратами, позволяющими отключать присоединение или участок присоединения с однофазным замыканием на землю.</p> <p>Высокоомное резистивное заземление нейтрали допускается применять в случае, если значение тока замыкания на землю не превышает значения, указанные в пункте 621 Правил.</p> <p>При высокоомном резистивном заземлении нейтрали сопротивление резистора должно выбираться из условия, чтобы значение активной составляющей тока замыкания на землю было больше или равно ёмкостной составляющей тока замыкания на землю. Низкоомное резистивное заземление нейтрали следует применять в случаях, когда однофазное замыкание на землю должно быть селективно отключено в течение минимально возможного времени, а также при наличии в электрической сети силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена. При этом ток в нейтрали должен быть достаточным для работы релейной защиты на отключение.</p> <p>В электрических сетях, кроме электрических сетей с низкоомным резистивным заземлением, допускается работа ВЛ и КЛ с замыканием на землю до устранения повреждения.</p> <p>620. Для ликвидации нарушений нормального режима, связанных с возникновением замыкания на землю в электрических сетях с изолированной нейтралью, должны применяться средства селективного определения присоединения или его участка с однофазным замыканием на землю совместно с управляемыми коммутационными аппаратами, позволяющими отключать присоединение или участок присоединения с однофазным замыканием на землю.</p>										
<p>5.11.8. Компенсация ёмкостного тока замыкания на землю дугогасящими реакторами должна применяться при ёмкостных токах, превышающих следующие значения:</p> <table border="1"> <tr> <td>Номинальное напряжение сети, кВ.</td> <td>6</td> <td>10</td> <td>15 – 20</td> <td>35 и выше</td> </tr> <tr> <td>ёмкостный ток замыкания на землю, А.</td> <td>30</td> <td>20</td> <td>15</td> <td>10</td> </tr> </table> <p>В сетях собственных нужд 6 кВ блочных электростанций допускается режим работы с заземлением нейтрали сети через резистор. В цепях генераторного напряжения при обосновании соответствующими расчётами допускается режим работы с изолированной нейтралью.</p> <p>В сетях 6 – 35 кВ с ВЛ на железобетонных и металлических опорах должны использоваться дугогасящие реакторы при ёмкостном токе замыкания на землю более 10 А.</p> <p>Работа сетей 6 – 35 кВ без компенсации ёмкостного тока при его значениях, превышающих указанные выше, не допускается.</p> <p>Для компенсации ёмкостных токов замыкания на землю в сетях должны применяться заземляющие дугогасящие реакторы с ручным или автоматическим регулированием. Измерение ёмкостных токов, токов дугогасящих реакторов, токов замыкания на землю и напряжений смещения нейтрали в сетях с компенсацией ёмкостного тока должно производиться при вводе в эксплуатацию дугогасящих реакторов и значительных изменениях режимов сети, но не реже 1 раза в 6 лет.</p>	Номинальное напряжение сети, кВ.	6	10	15 – 20	35 и выше	ёмкостный ток замыкания на землю, А.	30	20	15	10	<p>621. Компенсация ёмкостного тока замыкания на землю дугогасящими реакторами должна применяться при ёмкостных токах, превышающих следующие значения:</p> <ul style="list-style-type: none"> при номинальном напряжении сети 6 кВ – 30 А; при номинальном напряжении сети 10 кВ – 20 А; при номинальном напряжении сети 15 – 20 кВ – 15 А; при номинальном напряжении сети 35 кВ и выше – 10 А. <p>В сетях СН напряжением 6 кВ блочных электростанций допускается режим работы с заземлением нейтрали сети через резистор. В цепях генераторного напряжения при обосновании соответствующими расчётами допускается режим работы с изолированной нейтралью.</p> <p>В сетях напряжения 6 – 35 кВ с ВЛ на железобетонных и металлических опорах должны использоваться дугогасящие реакторы при ёмкостном токе замыкания на землю более 10 А. Допускается режим работы нейтрали через низкоомный резистор с отключением присоединения с однофазным замыканием на землю.</p> <p>Работа сетей напряжением 6 – 35 кВ без компенсации ёмкостного тока при его значениях, превышающих указанные выше, не допускается.</p> <p>Измерение ёмкостных токов, токов дугогасящих реакторов, токов замыкания на землю и напряжений смещения нейтрали в сетях с компенсацией ёмкостного тока должно проводиться при вводе в эксплуатацию дугогасящих реакторов и значительных изменениях режимов сети, но не реже 1 раза в 6 лет, а также для сетей сложной конфигурации, когда расчётным путём точные значения ёмкостных токов получить невозможно.</p> <p>Допускается определение ёмкостных токов расчётным путём для сети с простой конфигурацией или сети, не подвергавшейся значительным изменениям конфигурации.</p> <p>Данные для расчёта значений ёмкостных токов замыкания на землю по отходящим КЛ и ВЛ владелец таких КЛ и ВЛ должен предоставлять собственнику или иному законному владельцу подстанции (секции шин), с которой запитаны указанные ВЛ и КЛ.</p> <p>При превышении значений ёмкостного тока, указанных в настоящем пункте Правил, должно применяться заземление нейтрали посредством системы компенсации ёмкостных токов (в том числе системы полной компенсации) либо через низкоомный резистор или проводиться деление сети на электрически несвязанные части.</p>
Номинальное напряжение сети, кВ.	6	10	15 – 20	35 и выше							
ёмкостный ток замыкания на землю, А.	30	20	15	10							

ПТЭ ЭСС РФ 2003 г.	ПТЭ ЭСС РФ 2022 г.
<p>5.11.9. Мощность дугогасящих реакторов должна быть выбрана по ёмкостному току сети с учётом её перспективного развития.</p> <p>Заземляющие дугогасящие реакторы должны быть установлены на подстанциях, связанных с компенсируемой сетью не менее чем двумя линиями электропередачи.</p> <p>Установка дугогасящих реакторов на тупиковых подстанциях не допускается.</p>	<p>622. Мощность дугогасящих реакторов должна быть выбрана по ёмкостному току сети с учётом её перспективного развития.</p> <p>Заземляющие дугогасящие реакторы должны быть установлены на подстанциях, связанных с компенсируемой сетью не менее чем двумя ЛЭП.</p> <p>Установка дугогасящих реакторов на тупиковых подстанциях не допускается.</p>
<p>Дугогасящие реакторы должны быть подключены к нейтралю трансформаторов, генераторов или синхронных компенсаторов через разъединители.</p> <p>Для подключения дугогасящих реакторов, как правило, должны использоваться трансформаторы со схемой соединения обмоток звезда – треугольник.</p> <p>Подключение дугогасящих реакторов к трансформаторам, защищённым плавкими предохранителями, не допускается.</p> <p>Ввод дугогасящего реактора, предназначенный для заземления, должен быть соединён с общим заземляющим устройством через трансформатор тока.</p> <p>5.11.10. Дугогасящие реакторы должны иметь резонансную настройку.</p> <p>Допускается настройка с перекомпенсацией, при которой степень расстройки компенсации должна быть не более 5%. Если установленные в сетях 6 – 20 кВ дугогасящие реакторы имеют большую разность токов смежных ответвлений, допускается настройка с реактивной составляющей тока замыкания на землю не более 10 А. В сетях 35 кВ при ёмкостном токе замыкания на землю менее 15 А допускается степень расстройки не более 10%.</p> <p>Работа сетей с недокомпенсацией ёмкостного тока, как правило, не допускается. Разрешается применение настройки с недокомпенсацией лишь временно при отсутствии дугогасящих реакторов необходимой мощности и при условии, что аварийно возникающие несимметрии емкостей фаз сети не могут привести к появлению напряжения смещения нейтрали, превышающего 70 % фазного напряжения.</p>	<p>623. Дугогасящие реакторы должны быть подключены к нейтралю трансформаторов, генераторов или синхронных компенсаторов через разъединители.</p> <p>Для подключения дугогасящих реакторов должны использоваться трансформаторы со схемой соединения обмоток «звезда – треугольник».</p> <p>Подключение дугогасящих реакторов к трансформаторам, защищённым плавкими предохранителями, не допускается.</p> <p>Ввод дугогасящего реактора, предназначенного для заземления, должен быть соединён с общим заземляющим устройством через трансформатор тока.</p> <p>Дугогасящие реакторы должны иметь резонансную настройку.</p> <p>Настройка с перекомпенсацией, при которой степень расстройки компенсации должна быть не более 5 %, допускается. Если установленные в сетях 6 – 20 кВ дугогасящие реакторы имеют большую разность токов смежных ответвлений, допускается настройка с реактивной составляющей тока замыкания на землю не более 10 А. В сетях 35 кВ при ёмкостном токе замыкания на землю менее 15 А допускается степень расстройки не более 10 %.</p> <p>Работа сетей с недокомпенсацией ёмкостного тока не допускается (за исключением случаев применения дугогасящих реакторов, настраиваемых в резонанс при возникновении замыкания на землю).</p> <p>Допускается применение настройки с недокомпенсацией временно при отсутствии дугогасящих реакторов необходимой мощности и при условии, что аварийно возникающие несимметрии ёмкостей фаз сети не могут привести к появлению напряжения смещения нейтрали, превышающего 70 % фазного напряжения.</p>
<p>5.11.11. В сетях, работающих с компенсацией ёмкостного тока, напряжение несимметрии должно быть не выше 0,75 % фазного напряжения.</p> <p>При отсутствии в сети замыкания на землю напряжение смещения нейтрали допускается не выше 15 % фазного напряжения длительно и не выше 30 % в течение 1 ч.</p> <p>Понижение напряжения несимметрии и смещения нейтрали до указанных значений должно быть осуществлено выравниванием ёмкостей фаз сети относительно земли (изменением взаимного положения фазных проводов, а также распределением конденсаторов высокочастотной связи между фазами линий).</p> <p>При подключении к сети конденсаторов высокочастотной связи и конденсаторов молниезащиты вращающихся машин должна быть проверена допустимость несимметрии ёмкостей фаз относительно земли.</p> <p>Пофазные включения и отключения воздушных и кабельных линий, которые могут приводить к напряжению смещения нейтрали, превышающему указанные значения, не допускаются.</p>	<p>624. В сетях, работающих с компенсацией ёмкостного тока, напряжение несимметрии должно быть не выше 0,75 % фазного напряжения (за исключением случаев применения дугогасящих реакторов, настраиваемых в резонанс при возникновении замыкания на землю).</p> <p>При отсутствии в сети замыкания на землю напряжение смещения нейтрали допускается не выше 15 % фазного напряжения длительно и не выше 30 % в течение одного часа.</p> <p>Понижение напряжения несимметрии и смещения нейтрали до указанных значений должно быть осуществлено выравниванием ёмкостей фаз сети относительно земли (изменением взаимного положения фазных проводов, а также распределением конденсаторов высокочастотной связи между фазами линий).</p> <p>При подключении к сети конденсаторов высокочастотной связи и конденсаторов молниезащиты вращающихся машин должна быть проверена допустимость несимметрии ёмкостей фаз относительно земли.</p> <p>Пофазные включения и отключения ВЛ и КЛ, которые могут приводить к напряжению смещения нейтрали, превышающему указанные значения, не допускаются.</p>
<p>5.11.12. В сетях 6 – 20 кВ, как правило, должны применяться плавнорегулируемые дугогасящие реакторы с автоматическими регуляторами настройки тока компенсации.</p> <p>При применении дугогасящих реакторов с ручным регулированием тока показатели настройки должны определяться по измерителю расстройки компенсации.</p> <p>Настройка дугогасящих реакторов на основании результатов измерений ёмкостного тока замыкания на землю и тока компенсации дугогасящих реакторов разрешается, только если ёмкостный ток замыкания на землю компенсируемой сети изменяется в среднем не чаще 2 раз в сутки с расстройкой компенсации не более 5 %.</p>	<p>625. В сетях напряжением 6 – 20 кВ должны применяться плавнорегулируемые дугогасящие реакторы с автоматическими регуляторами настройки тока компенсации и с ручным регулированием тока компенсации.</p> <p>При применении дугогасящих реакторов с ручным регулированием тока показатели настройки должны определяться по измерителю расстройки компенсации.</p> <p>Настройка дугогасящих реакторов на основании результатов измерений ёмкостного тока замыкания на землю и тока компенсации дугогасящих реакторов допускается, если ёмкостный ток замыкания на землю компенсируемой сети изменяется в среднем не чаще 2 раз в сутки с расстройкой компенсации не более 5 %.</p>
<p>5.11.13. В установках с вакуумными выключателями, как правило, должны быть предусмотрены мероприятия по защите от перенапряжений при коммутациях индуктивных элементов (электродвигателей, трансформаторов); отказ от мероприятий по защите должен быть обоснован.</p>	

ПТЭ ЭСС РФ 2003 г.	ПТЭ ЭСС РФ 2022 г.
<p>5.11.14. На подстанциях 110 – 220 кВ для предотвращения возникновения перенапряжений от самопроизвольных смещений нейтрали или опасных феррорезонансных процессов оперативные действия должны начинаться с заземления нейтрали трансформатора, включаемого на ненагруженную систему шин с трансформаторами напряжения НКФ-110 и НКФ-220.</p> <p>Перед отделением от сети ненагруженной системы шин с трансформаторами НКФ-110 и НКФ-220 нейтраль питающего трансформатора должна быть заземлена.</p> <p>В сетях 110 – 220 кВ при появлении неполнофазного режима питания трансформаторов, работающих с изолированной нейтралью, оперативные действия, связанные с заземлением нейтрали этих трансформаторов, не допускаются.</p> <p>Распределительные устройства 150 – 500 кВ с электромагнитными трансформаторами напряжения и выключателями, контакты которых шунтированы конденсаторами, должны быть проверены на возможность возникновения феррорезонансных перенапряжений при отключениях систем шин. При необходимости должны быть приняты меры к предотвращению феррорезонанса при оперативных и автоматических отключениях.</p> <p>В сетях и на присоединениях 6 – 35 кВ в случае необходимости должны быть приняты меры к предотвращению феррорезонансных процессов, в том числе самопроизвольных смещений нейтрали.</p>	<p>626. РУ напряжением 110 – 500 кВ с электромагнитными трансформаторами напряжения и выключателями, контакты которых шунтированы конденсаторами, должны быть проверены владельцем оборудования на возможность возникновения феррорезонансных перенапряжений при отключениях систем шин. При возможности возникновения феррорезонанса оперативные переключения должны выполняться в соответствии с требованиями Правил переключений в электроустановках.</p> <p>Владельцем оборудования должны быть приняты меры по предотвращению феррорезонанса при автоматических отключениях.</p> <p>В сетях и на присоединениях напряжением 6 – 35 кВ владельцем оборудования должны быть приняты меры по предотвращению феррорезонансных процессов, в том числе самопроизвольных смещений нейтрали.</p>

ным путём точные значения ёмкостных токов получить невозможно»;

– указаны условия, когда ёмкостный ток можно определить только расчётным путём: «Допускается определение ёмкостных токов расчётным путём для сети с простой конфигурацией или сети, не подвергавшейся значительным изменениям конфигурации»;

– зафиксирована обязанность владельца отходящих КЛ и ВЛ предоставлять собственнику или иному законному владельцу подстанции данные об этих линиях («должен»).

Особо следует отметить последний абзац п. 621, в котором теперь указано, что при превышении значений ёмкостного тока выше указанных норм должно применяться заземление нейтрали посредством системы компенсации ёмкостных токов (в том числе системы полной компенсации, что легализует применение современных систем полной компенсации, либо, как альтернатива, заземление через низкоомный резистор, либо деление сети на электрически несвязанные части.

В п. 623 произошло ужесточение требований к схеме соединения обмоток нейтралеобразующих трансформаторов, вместо словосочетания «как правило» указано «должны». Однако указание по применению фильтров нулевой последовательности (ФНП) с обмотками, соединёнными в «зигзаг», в настоящее время также широко используемых в эксплуатации, отсутствует. «Для подключения дугогасящих реакторов должны использоваться трансформаторы со схемой соединения обмоток «звезда – треугольник»».

Помимо этого, теперь разрешено использование ДГР, управляемых током

подмагничивания, настраиваемых в резонанс только при ОЗЗ (ДГР типа РУОМ): «Работа сетей с недокомпенсацией ёмкостного тока не допускается (за исключением случаев применения дугогасящих реакторов, настраиваемых в резонанс при возникновении замыкания на землю)». Таким образом, снят долго обсуждаемый и дискутируемый вопрос о применении и настройке таких ДГР.

В п. 624 наряду с нормами по величине несимметрии в сетях с компенсацией ёмкостного тока снято ограничение по величине этой несимметрии в случае применения дугогасящих реакторов, настраиваемых в резонанс при возникновении замыкания на землю: «В сетях, работающих с компенсацией ёмкостного тока, напряжение несимметрии должно быть не выше 0,75 % фазного напряжения (за исключением случаев применения дугогасящих реакторов, настраиваемых в резонанс при возникновении замыкания на землю)».

Пункт 625 ужесточает требование к обязательности применения плавнорегулируемых ДГР, словосочетание «как правило» заменено на «должны», а кроме того, плавнорегулируемые ДГР обязательно должны иметь ручное регулирование тока настройки: «В сетях напряжением 6 – 20 кВ должны применяться плавнорегулируемые дугогасящие реакторы с автоматическими регуляторами настройки тока компенсации и с ручным регулированием тока настройки».

В новых ПТЭ ЭСС РФ [7] удалён п. 5.11.12 о мероприятиях по защите от перенапряжений при коммутациях индуктивных элементов в установках с вакуумными выключателями.

Согласно изменениям в п. 626, теперь ответственность по принятию мер по предотвращению феррорезонансных процессов, в том числе самопроизвольных смещений нейтрали, в сетях и на присоединениях напряжением 6 – 35 кВ возложена на владельца оборудования.

Несмотря на значительное число, на наш взгляд, безусловно являющихся положительными изменений, п. 621, имеющий определённые противоречия между абзацами в отношении обязательности введения компенсации ёмкостных токов требует корректировки.

На взгляд авторов требуются дополнения по указанию допустимости так называемого режима комбинированного режима заземления нейтрали — заземление нейтрали, при котором параллельно дугогасящему реактору подключается высокоомный резистор. Применение режима комбинированного режима заземления нейтрали регламентируется в большинстве отечественных отраслевых стандартов и широко используется в эксплуатационной практике [7, 8].

Для учёта особенностей сетей 6 – 35 кВ электросетевых объектов и предприятий с точки зрения реализации оптимального режима заземления нейтрали при проектировании и эксплуатации необходимо использовать требования новых ПТЭ ЭСС РФ [9] в комплексе с требованиями современных отраслевых стандартов предприятий по режимам заземления нейтрали и других руководящих документов.

Заключение

1. Введение в действие новых ПТЭ ЭСС РФ [9], актуализированных с учётом современных технических решений

по заземлению нейтрали сетей 6 – 35 кВ, неоспоримо является крайне важным шагом для повышения надёжности работы и безопасности эксплуатации электросетевых объектов и предприятий.

2. Пункт 621 главы 42 «XLII. Требования к эксплуатации защиты от перенапряжений» требует определённой корректировки и согласования содержания.

3. Комплексное использование требований актуализированных ПТЭ ЭЭС РФ [9], современных стандартов предприятий по режимам заземления нейтрали и других нормативных документов позволит эффективно применять современные технические решения по заземлению нейтрали (новые разработки оборудования заземления нейтрали, схемы с применением высокоомных и низкоомных резисторов заземления).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Правила* технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. Утв. приказом Минэнерго России от 19.06.03 г. № 229.

2. *Правила* устройства электроустановок. — 7-е изд.: утв. приказом Минэнерго России от 08 июля 2002 г. № 204. — М.: НЦ ЭНАС, 2004.

3. *РД 34.20.179* (ТИ 34-70-070–87). Типовая инструкция по компенсации ёмкостного тока замыкания на землю в электрических сетях 6 – 35 кВ. <https://docs.cntd.ru/document/1200037129>.

4. *РД 153-34.3-35.125–99*. Руководство по защите электрических сетей 6 – 1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений. https://www.elec.ru/viewer?url=/library/direction/rd_153-34_3-35_125-99.pdf.

5. *Правила* технической эксплуатации электроустановок потребителей. Утв. приказом Минэнерго России от 13.01.2003 г. № 6. <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&document-Id=427086&cw=40>.

6. *Правила* технической эксплуатации электроустановок потребителей электрической энергии. Утв. приказом Минэнерго РФ от 12.08.2022 г. № 811 и зарегистрированы в Минюсте РФ 07.10.2022 г. (рег. № 70433). <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&document-Id=433499>.

7. *Емельянов Н. И., Ширковец А. И.* Актуальные вопросы применения резистивного и комбинированного заземления нейтрали в электрических сетях 6 – 35 кВ // Энергоэксперт. 2010. № 2. С. 44 – 50.

8. *Сазонов В. Н.* Комбинированное заземление нейтрали сетей 6 – 35 кВ // Электроэнергия. Передача и распределение. 2017. № 1 (40). С. 44 – 47.

9. *Правила* технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. Утв. приказом Минэнерго России от 04.11.22 г. № 1070. <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=438327>.

DOI: 10.34831/EP.2023.74.83.002

УДК 621.311

Измерение ёмкостных токов, токов дугогасящих реакторов, напряжений на фазах и нейтрали в опыте контролируемого замыкания на землю

ШИРКОВЕЦ А. И., канд. техн. наук

ИЛЬИНЫХ М. В., ЛИСКЕ А. Г.

ООО «Болид»

630015, г. Новосибирск, Электrozаводской пр., 1

eng@pnpbolid.com



А. И. Ширковец



М. В. Ильиных



А. Г. Лиске

Приведены методические основы определения тока однофазного замыкания на землю, тока дугогасящих реакторов, напряжений фаз и напряжения смещения (несимметрии) экспериментальным путём. Значения этих токов и напряжений необходимы для расчётов и выбора способа заземления нейтрали электрической сети напряжением от 6 до 35 кВ и параметров необходимого силового оборудования. Подобные измерения регламентированы Правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ и должны проводиться не реже 1 раза в 6 лет. Отмечено, что максимальный объём информации при правильной постановке измерений можно получить, создавая кратковременные искусственные замыкания на землю, которые являются контролируруемыми и относительно безопасными. Показано, что современная цифровая аппаратура, применяемая в комплексе с широкополосными датчиками тока и напряжения, позволяет получить необходимый объём данных для решения любых задач по выбору и реализации оптимального режима нейтрали сети, а также проверить работоспособность уже установленного оборудования в нейтрали.

В качестве примера измерений параметров сети по описанной методике представлены результаты исследований в электрической сети 6 кВ одного из центров питания 220 кВ нефтеперерабатывающего завода. К особенностям сети можно отнести большое число электродвигателей мощностью до 4400 кВт, исключительное использование кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена и поливинилхлорида, а также применение сложной схемы комбинированного заземления нейтрали сети 6 кВ на основе комплекта оборудования полностью китайского производства компании Sieyuan Electric.

Ключевые слова: методика измерений, натурные испытания, цифровой осциллограф, частота дискретизации, ёмкостный ток, однофазное замыкание на землю, контролируемое замыкание, дугогасящий реактор, фазное напряжение, напряжение на нейтрали, электрическая сеть 6 кВ, система компенсации, комбинированное заземление, сухой дугогасящий реактор, контроллер настройки.

Однофазное замыкание на землю (ОЗЗ) представляет собой специфический электромагнитный процесс, сопровождающийся снижением напряжения на повреждённой фазе до значений, определяемых переходным сопротивлением в месте пробоя изоляции относительно «земли» и повышением напряжения на двух других фазах до уровня, который определяется видом замыкания и параметрами сети [1]. Изучению переходных и установившихся режимов замыкания на землю в электрических сетях напряжением до 35 кВ посвящены многочисленные исследо-

вания. Измерения ёмкостного тока, в значительной мере характеризующего режим ОЗЗ и дающего основание для выбора того или иного режима заземления нейтральной точки, регламентированы в Правилах технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации (ПТЭ ЭЭС РФ) [2, п. 571, п. 621], где указано: «Измерение ёмкостных токов, токов дугогасящих реакторов, токов замыкания на землю и напряжений смещения нейтрали в сетях с компенсацией ёмкостного тока должно производиться при вводе в эксплуатацию дугогасящих реакторов