ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 59030— 2020 (МЭК 61975:2016)

СИСТЕМЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Виды и методы испытаний

(IEC 61975:2016, High-voltage direct current (HVDC) installations — System tests, MOD)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2020

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский институт по передаче электроэнергии постоянным током высокого напряжения» (ОАО «НИИПТ») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 016 «Электроэнергетика»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 25 ноября 2020 г. № 1167-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту МЭК 61975:2016 «Системы постоянного тока высокого напряжения (ПТВН). Системные испытания» [IEC 61975:2016 «High-voltage direct current (HVDC) installations — System tests»] путем изменения отдельных фраз, слов, ссылок, которые выделены в тексте курсивом, а также путем изменения содержания отдельных структурных элементов, которые выделены вертикальной линией, расположенной на полях этого текста. Оригинальный текст этих структурных элементов примененного международного стандарта и объяснения причин внесения технических отклонений приведены в дополнительном приложении ДБ.

В настоящий стандарт не включены подпункт 6.5.2.5, примечание к подпункту 5.7.3.2 примененного международного стандарта. Указанные пункты и примечания, не включенные в основную часть настоящего стандарта, а также объяснения причин внесения технических отклонений приведены в дополнительном приложении ДВ.

В настоящий стандарт внесены дополнительные положения, при этом они заключены в рамки из тонких линий, а объяснения причин их включения приведены в примечаниях.

Внесение указанных технических отклонений направлено на учет потребностей национальной экономики Российской Федерации и особенностей объекта стандартизации, характерных для Российской Федерации.

Международный стандарт разработан Подкомитетом SC 22F «Силовая электроника для систем передачи и распределения электроэнергии» Технического комитета ТС 22 «Системы и оборудование силовой электроники» Международной электротехнической комиссии (IEC).

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного стандарта для приведения в соответствие с ГОСТ Р 1.5—2012 (пункт 3.5).

Сведения о соответствии ссылочных национальных и межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте, приведены в дополнительном приложении ДА

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (www.gost.ru)

© Стандартинформ, оформление, 2020

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения . . . 1
2 Нормативные ссылки . . . 1
3 Термины и определения . . . 2
3.1 Термины классификации испытаний . . . 2
3.2 Определения, относящиеся к рабочему состоянию . . . 2
4 Цели испытаний системы постоянного тока высокого напряжения . . . 3
4.1 Категории испытаний системы постоянного тока высокого напряжения . . . 3
4.2 Структура системы постоянного тока высокого напряжения . . . 5
4.3 Схема системы управления и защиты . . . 6
4.4 Последовательность испытаний системы постоянного тока высокого напряжения . . . 6
4.5 Программа испытаний систем постоянного тока высокого напряжения . . . 7
4.6 Испытания, предшествующие испытаниям на *объекте* . . . 7
4.7 *Приемо-сдаточные* испытания . . . 9
4.8 Мероприятия по обеспечению измерений при испытаниях . . . 9
4.9 Мероприятия по обеспечению безопасности при испытаниях . . . 10
5 Испытания на преобразовательной подстанции . . . 10
5.1 Общие положения . . . 10
5.2 Испытания преобразовательного устройства . . . 11
5.3 Подача напряжения на *фильтрокомпенсирующие компоненты* оборудования . . . 12
5.4 Изменение конфигурации системы постоянного тока . . . 12
5.5 Электромагнитная совместимость . . . 14
5.6 Испытание *срабатывания выключателей* . . . 15
5.7 Испытание при разомкнутой линии *постоянного тока* . . . 15
5.8 Испытание методом взаимной нагрузки *(испытания «по кругу»)* . . . 17
5.9 Испытание при коротком замыкании *на стороне постоянного тока* . . . 18
6 Испытания при передаче электроэнергии . . . 19
6.1 Испытания при передаче *малой мощности* . . . 19
6.2 Переход между режимами ручного управления . . . 25
6.3 Изменение конфигурации постоянного тока . . . 30
6.4 Коммутация оборудования *подстанции* . . . 32
6.5 Испытание динамических рабочих характеристик . . . 36
6.6 Искусственные короткие замыкания в системе переменного и постоянного тока . . . 45
6.7 Отказы телекоммуникационного, вспомогательного или дублирующего оборудования . . . 48
6.8 Испытания при передаче электроэнергии высокой мощности . . . 51
6.9 Окончательные *приемо-сдаточные* испытания . . . 54
7 Опытная эксплуатация . . . 60
7.1 Общие положения . . . 60
7.2 Цель испытаний . . . 61
7.3 *Основные* условия испытаний . . . 61
7.4 Порядок испытаний . . . 61
7.5 Критерии приемлемости результатов испытаний . . . 61
8 План испытаний систем постоянного тока высокого напряжения и документация . . . 61
8.1 Общие положения . . . 61

8.2 Документация на оборудование и руководства по эксплуатации 62
8.3 Отчеты по результатам анализа системы и технические условия 62
8.4 План проверок и испытаний 62
8.5 Программа испытаний системы постоянного тока высокого напряжения 63
8.6 Процедуры испытаний для каждого испытания 63
8.7 Документирование результатов испытаний системы постоянного тока высокого напряжения . . 63
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных национальных и межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте 65
Приложение ДБ (справочное) Положения МЭК 61975:2016, которые применены в настоящем стандарте с модификацией их содержания 66
Приложение ДВ (справочное) Положения МЭК 61975:2016, которые не включены в основную часть настоящего стандарта 67
Библиография 68

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СИСТЕМЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Виды и методы испытаний

High-voltage direct current systems. Types and test methods

Дата введения — 2021—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает требования к системным испытаниям двухподстанционных реверсивных передач постоянного тока высокого напряжения (ПТВН), выполненных по биполярной схеме, а также вставок постоянного тока. Настоящий стандарт также распространяется на передачи ПТВН, выполненные по монополярной схеме, за исключением разделов, относящихся к испытаниям биполярных передач ПТВН.

Применение настоящего стандарта ограничено высоковольтными преобразовательными подстанциями ПТВН на базе трехфазных мостовых схем с линейной коммутацией. Настоящий стандарт не распространяется на многоподстанционные передачи постоянного тока и передачи постоянного тока, содержащие преобразовательные подстанции ПТВН на основе самокоммутирующихся преобразователей напряжения.

В случае необходимости проверки выполнения специальных функций или рабочих характеристик, которые предусматриваются в проектах *передач ПТВН или вставок постоянного тока*, следует добавить дополнительные процедуры испытаний, не включенные в настоящий стандарт, в соответствии с техническими требованиями.

Настоящий стандарт следует использовать исключительно в качестве руководящих указаний для проведения испытаний систем ПТВН. В стандарте приведены рекомендации для потенциальных пользователей по вопросам планирования *мероприятий* по вводу в эксплуатацию. Не все приведенные в настоящем стандарте мероприятия применимы для каждого проекта *передачи ПТВН или вставки постоянного тока*, однако представляют собой набор возможных испытаний, которые следует принять к рассмотрению.

Рекомендуется, чтобы проектная организация разработала индивидуальную программу испытаний на основе настоящего стандарта и заблаговременно распределила обязанности по выполнению различных задач и операций между участвующими организациями (например, пользователем, поставщиком, изготовителем, оператором, покупателем и т. д.) в рамках каждого конкретного проекта *передачи ПТВН или вставки постоянного тока*.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.1.001 Система стандартов безопасности труда. Ультразвук. Общие требования безопасности

ГОСТ 17168 Фильтры электронные октавные и третьоктавные. Общие технические требования и методы испытаний

ГОСТ IEC 61000-4-3 Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-3. Методы испытаний и измерений. Испытание на устойчивость к излучаемому радиочастотному электромагнитному полю

Издание официальное

ГОСТ ISO 9612 Акустика. Измерения шума для оценки его воздействия на человека. Метод измерений на рабочих местах

ГОСТ Р 53188.1 Государственная система обеспечения единства измерений. Шумомеры. Часть 1. Технические требования

ГОСТ Р 55193 (МЭК 60060-2:2010) Электрооборудование и электроустановки переменного тока на напряжение 3 кВ и выше. Методы измерения при испытаниях высоким напряжением

ГОСТ Р 59027 (МЭК 60633:2019) Передача электроэнергии постоянным током высокого напряжения. Термины и определения.

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по *ГОСТ Р 59027*, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 Термины классификации испытаний

3.1.1 **заводские испытания** (off-site tests): Проверка внутренних соединений в шкафах управления и подтверждение надлежащей реализации исходного функционального назначения программного обеспечения, которое производится за пределами монтажной площадки на предприятии-изготовителе перед отгрузкой системы управления и защиты на объект.

3.1.2 **испытания преобразовательной подстанции** (station test): Предпусковые электрические, механические испытания и функциональные испытания оборудования преобразовательной подстанции под напряжением; данные испытания производятся на всех смонтированных компонентах оборудования или установки.

3.1.3 **испытания *системы ПТВН*** (system test): Функциональные испытания отдельных подсистем и систем ПТВН, направленные на проверку внутренних соединений и функционирование всех отдельных компонентов оборудования в составе функциональной группы (или подсистемы), подтверждение правильности работы и надлежащего взаимодействия этих компонентов, предназначенные для проверки функционирования и рабочих характеристик системы ПТВН в целом; пробные пуски и комплексное опробование системы ПТВН.

3.1.4 **испытания при передаче электроэнергии** (transmission tests): Испытания, предназначенные для проверки функционирования и рабочих характеристик системы ПТВН при передаче энергии между двумя преобразовательными подстанциями.

3.1.5 ***испытания на объекте*** (on-site test): Испытания, проводимые на объекте, включают в себя испытания преобразовательной подстанции и испытания при передаче мощности — пуск и тестирование комплектной ПТВН в условиях эксплуатации, начиная с первоначальной подачи напряжения на оборудование и заканчивая проверкой работы системы в целом с выходом на максимальный режим передачи активной и реактивной мощности.

Примечание — См. ДБ.1 (приложение ДБ).

3.2 Определения, относящиеся к рабочему состоянию

Для системы постоянного тока определено пять состояний: заземлена, остановлена, состояние готовности, заблокирована, разблокирована.

3.2.1 **заземлена** (earthed): Состояние, при котором полюс или преобразователь отключен и заземлен на сторонах переменного тока и постоянного тока и подача напряжения на оборудование полюса или преобразователя невозможна.

Примечание — В заземленном состоянии обеспечивается уровень безопасности, необходимый для проведения работ по техническому обслуживанию, и только в этом состоянии разрешается техническое обслуживание полюса и преобразователя. В этом состоянии возможно проведение работ по техническому обслуживанию преобразовательных трансформаторов, отключенных и заземленных частей оборудования шины высокого напряжения переменного тока и установленного в вентильном зале оборудования постоянного тока, относящегося к этому полюсу или преобразователю.

3.2.2 **остановлена/отключена** (stopped/isolated): Состояние, при котором полюс или преобразователь отключен со стороны переменного тока и постоянного тока, все заземляющие выключатели разомкнуты.

Примечание — В этом состоянии коммутирующее оборудование на стороне постоянного тока может быть подготовлено к передаче электроэнергии (линия заземляющего электрода подключена, полюс к линии постоянного тока подключен).

3.2.3 **состояние готовности** (standby): Состояние, когда система постоянного тока высокого напряжения не передает мощность, однако готова к передаче мощности.

Примечание — В этом состоянии преобразовательный трансформатор находится в состоянии готовности; переключатель *отпаек* преобразовательного трансформатора автоматически перемещается в начальное положение, которое обеспечивает подачу минимального напряжения на *вентильную обмотку* трансформатора для минимизации пускового тока. Секционный разъединитель замкнут, однако выключатели преобразовательного трансформатора разомкнуты. В таком состоянии имеется возможность изменения конфигурации системы постоянного тока (подключение линии заземляющего электрода, полюса к линии постоянного тока). Состояние готовности также называют «режимом готовности к включению».

3.2.4 **заблокирована** (blocked): Состояние, при котором полюс готов мгновенно начать передачу энергии.

Примечание — Преобразовательный трансформатор подключают к находящейся под напряжением шине переменного тока замыканием соответствующего выключателя. Система охлаждения вентилей находится в работе, при этом проводимость, расход и температура охлаждающей воды находятся в заданных пределах. Собрана предусмотренная схема системы постоянного тока. Дальнейшие изменения конфигурации схемы постоянного тока в этом состоянии невозможны. Предварительную проверку тиристоров выполняют после подачи напряжения на преобразовательный трансформатор. Предварительную проверку считают успешной, если *все тиристорные ячейки (в том числе и резервные) каждого вентиля находятся в работоспособном состоянии после проверки*. Из состояния «заблокирована» можно перейти в состояние «остановлена», готовности и «разблокирована». Состояние «заблокирована» также называют «режимом готовности к работе».

3.2.5 **разблокирована** (de-blocked): Состояние, представляющее два следующих *оперативных* режима: передача электроэнергии и испытания при разомкнутой линии.

Примечание — Нормальным режимом работы является режим передачи электроэнергии. В состоянии «разблокирован» полюс осуществляет передачу мощности в нормальном режиме, если передающая и приемная преобразовательные подстанции находятся в состоянии «разблокирована» и существует разница напряжений между преобразовательными подстанциями.

3.2.6 **испытания вне *объекта*** (off-site tests): Испытания, которые проводят до испытаний на месте эксплуатации.

Примечание — Штатные и типовые испытания, проводимые на заводе поставщика.

4 Цели испытаний системы постоянного тока высокого напряжения

4.1 Категории испытаний системы постоянного тока высокого напряжения

Испытания системы ПТВН являются завершающей стадией процедуры ввода системы ПТВН в эксплуатацию.

В ходе испытаний *системы ПТВН* разработчик выполняет проверку на корректность выполнения функций установленного на подстанции оборудования систем ПТВН и обеспечения заданной функ-

циональности системы. Кроме этого, выполняется корректировка и оптимизация настроек различных систем испытываемого объекта.

Производится проверка соответствия функциональных характеристик объекта всем требованиям, указанным в техническом задании. Результаты *испытаний системы ПТВН* должны коррелироваться результатами моделирования и заводских испытаний.

После завершения *испытаний системы ПТВН* начинается промышленная эксплуатации системы ПТВН.

При адаптации системы ПТВН к работе во взаимодействии с реальной примыкающей сетью переменного тока могут существовать различные ограничительные условия, соблюдение которых требует координации с *субъектом оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике*.

Следующие основные *элементы, параметры, свойства и характеристики* системы ПТВН должны быть проверены в ходе *испытаний системы ПТВН*:

a) оборудование подстанции ПТВН и линия/кабель/шина постоянного тока, включая заземляющий электрод, при наличии;

b) оборудование управления и защиты системы ПТВН и параметры этого оборудования;

c) технические характеристики по условиям соблюдения требований окружающей среды;

d) взаимодействие систем переменного тока и постоянного тока;

e) рабочие характеристики системы при совместной работе с примыкающей системой переменного тока.

Взаимосвязь между *перечисленными объектами испытаний* показана на рисунке 1.

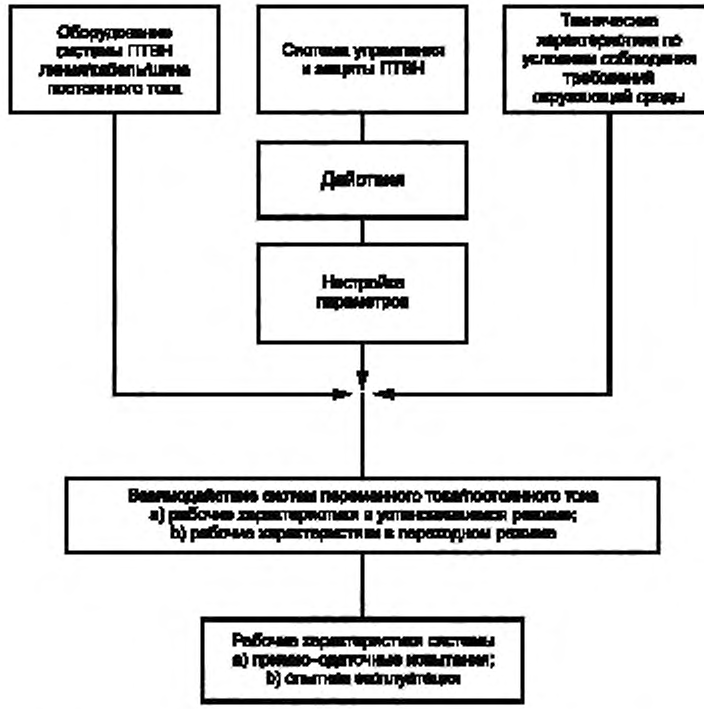


Рисунок 1 — Взаимосвязь между пятью основными *объектами* испытаний системы ПТВН

Выполнение испытаний, описанных в настоящем стандарте, позволяет осуществить комплексную проверку перечисленных выше элементов, параметров, свойств и характеристик системы ПТВН.

Приемо-сдаточные испытания являются обязательными для успешного завершения работ, по их результатам осуществляется окончательная приемка системы ПТВН эксплуатирующей организацией. Программа *приемо-сдаточных* испытаний заблаговременно согласуется между разработчиком и экс-

плуатирующей организацией и может быть выполнена в подходящее время с учетом графика проведения испытаний.

Опытная эксплуатация предназначена для подтверждения эксплуатационных характеристик и готовности системы ПТВН во время заданного периода эксплуатации в реальных условиях. Программа опытной эксплуатации согласуется между разработчиком и эксплуатирующей организацией. Во время опытной эксплуатации необходимо фиксировать сведения об отказах, неисправностях и аварийных ситуациях всех частей системы ПТВН, а также условиях, предшествующих этим нарушениям.

Примечание — Для обеспечения соответствия настоящего пункта рисункам 1 и 4 и разделу 7.

Испытания системы ПТВН могут затрагивать интересы сторон, которые не являются фактическими сторонами контракта поставки системы ПТВН. Такие стороны должны быть уведомлены заранее.

Сложность и многообразие вопросов, связанных с системными испытаниями, требуют тщательного планирования и координации, сотрудничества между всеми вовлеченными сторонами, а также организации комплексной и упорядоченной системы документооборота.

Примечание — Предложенные процедуры испытаний приведены в виде рекомендаций, что позволяет использовать альтернативные процедуры испытаний при условии согласования между поставщиком и эксплуатирующей организацией.

4.2 Структура системы постоянного тока высокого напряжения

Система ПТВН состоит из передающей и приемной преобразовательных подстанций, каждая из которых подключена к системе переменного тока. Преобразовательные подстанции оснащены одним или несколькими преобразователями, подключенными последовательно на стороне постоянного тока и параллельно на стороне переменного тока. Преобразовательные подстанции соединены посредством воздушной линии и (или) кабеля постоянного тока или короткого участка шинопровода (в случае вставки постоянного тока). Система ПТВН, имеющая только один полюс, называется монополярной по *ГОСТ Р 59027*. Система ПТВН, состоящая из двух полюсов системы ПТВН, которые в нормальном режиме работы имеют противоположные полярности постоянного напряжения относительно земли, называется биполярной по *ГОСТ Р 59027*. Схема системы ПТВН приведена на рисунке 2.

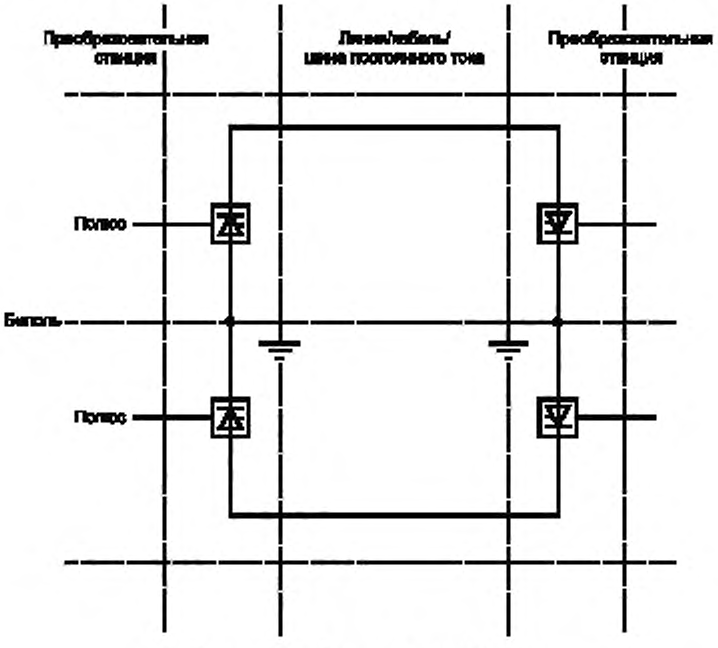


Рисунок 2 — Схема системы ПТВН

4.3 Схема системы управления и защиты

Каждый преобразователь может управляться независимо от других. Для надлежащего функционирования системы в качестве системы передачи электроэнергии следует обеспечить согласованное управление преобразователями со стороны более высокого уровня системы управления. Координированная работа функций управления и защиты является необходимым условием для корректного функционирования систем ПТВН.

Схема системы управления и защиты ПТВН приведена на рисунке 3.

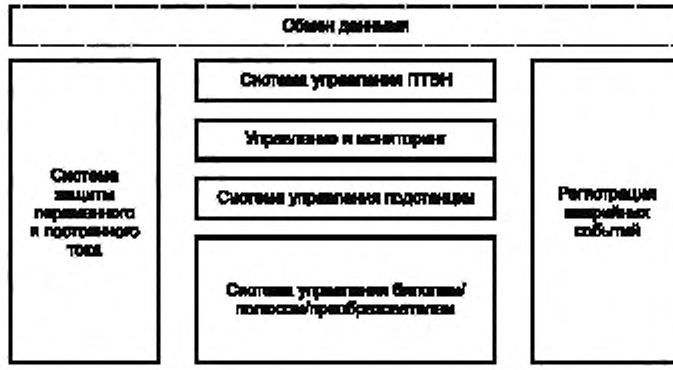


Рисунок 3 — Схема системы управления и защиты ПТВН

4.4 Последовательность испытаний системы постоянного тока высокого напряжения

Для обеспечения надлежащего функционирования системы необходимо проведение типовых и функциональных производственных испытаний на заводе с целью отладки и тестирования системы управления перед проведением испытаний на месте эксплуатации.

Для подготовки программы *испытаний системы ПТВН* необходимо выполнить цифровое моделирование работы системы ПТВН и примыкающих систем переменного тока, в частности выполнить анализ перетоков мощности, устойчивости, расчеты перенапряжений, *токов короткого замыкания (ТКЗ) в нормальных, ремонтных и послеаварийных схемах*. Расчетные модели, результаты моделирования и программные комплексы, с помощью которых следует производить моделирование, должны быть согласованы с эксплуатирующей организацией и (или) заказчиком.

Ввод системы ПТВН в эксплуатацию может затрагивать интересы сторон, которые не являются фактическими сторонами договора на поставку. Сложность и многообразие вопросов, связанных с системными испытаниями, требуют тщательного планирования и координации, сотрудничества между всеми участвующими сторонами, а также организации комплексной и структурированной системы документооборота. Перед началом испытаний системы *ПТВН* на объекте необходимо выполнить следующие предварительные условия касательно испытаний подсистем, подготовки оперативного персонала, проведения инструктажей по технике безопасности, планирования испытаний системы ПТВН и тестовых процедур, а также подготовки всего необходимого испытательного оборудования.

a) Все подсистемы должны быть проверены и сданы в эксплуатацию, в том числе фильтры переменного тока и преобразовательные трансформаторы.

b) Оперативный персонал должен получить надлежащую подготовку.

c) Персонал должен иметь в своем распоряжении инструкции по эксплуатации оборудования подстанции.

d) Должны быть подготовлены инструкции для персонала, инструкции по охране труда при работе с оборудованием и правила техники безопасности.

e) Должны быть подготовлены и согласованы план и программа испытаний системы ПТВН, а также соответствующая документация (см. раздел 8).

f) Для каждого испытания должны быть согласованы перетоки мощностей для систем переменного и постоянного тока.

g) Должны быть определены все эксплуатационные ограничения для систем переменного и постоянного тока.

h) Необходимо предусмотреть средства голосовой коммуникации для оперативного персонала.

i) Все необходимое испытательное оборудование должно быть откалибровано и готово к работе.

j) Должны быть согласованы процедуры для обработки и оценки результатов испытаний.

Испытания системы ПТВН на объекте следует проводить в соответствии со структурой системы ПТВН, начиная от преобразователя (как правило, 12-импульсного преобразователя) и заканчивая вводом в эксплуатацию всей системы. Программа испытаний должна начинаться с испытаний оборудования в пределах преобразовательных подстанций, затем переходят к испытаниям режимов передачи электроэнергии между подстанциями (преобразователями).

После выполнения предварительной подготовки необходимо провести испытания преобразовательной подстанции, начиная с испытаний преобразовательного устройства, включая подачу питания на фильтр переменного тока и сторону постоянного тока, изменение конфигурации системы постоянного тока, измерение электромагнитных помех, испытания при отключениях различных элементов системы, испытания при обрыве линий и прочее.

Испытания в режиме передачи электроэнергии должны быть проведены сначала для монополярной схемы ПТВН, затем для биполярной схемы и завершиться испытанием режима передачи номинальной мощности.

После успешного проведения испытаний в режиме передачи проводят испытания в установившихся режимах, при плановом включении и отключении передачи, при плановом увеличении передаваемой мощности. Затем проводят испытания в переходных режимах, в частности при возмущениях на сторонах постоянного и переменного тока, при восстановлении после коротких замыканий.

Программа *приемо-сдаточных* испытаний должна быть заблаговременно согласована между разработчиком системы и эксплуатирующей организацией и может быть выполнена в подходящее время с учетом графика проведения испытаний.

Во время *приемо-сдаточных* испытаний проверяют способность системы ПТВН к надлежащей работе в течение длительного периода времени.

Полная и упорядоченная документация на проведение испытаний системы ПТВН, разработанная с учетом требований как поставщика, так и эксплуатирующей организации, должна содержать все необходимые записи данных, журналы регистрации и прочие документы и, если необходимо, комментарии и ссылки на другие источники.

После завершения всех упомянутых выше испытаний системы ПТВН и проверки всех функций система ПТВН может быть передана эксплуатирующей организации.

Программа испытаний должна быть составлена и утверждена с учетом требований постановления [1], а также соответствующих нормативных правовых актов Минэнерго России.

Примечание — Дополнено с целью учета особенностей терминологии, нормативной документации и порядка проведения испытаний систем постоянного тока высокого напряжения, применяемых в Российской Федерации.

4.5 Программа испытаний систем постоянного тока высокого напряжения

Общая схема программы испытаний системы ПТВН приведена на рисунке 4.

4.6 Испытания, предшествующие испытаниям на *объекте*

4.6.1 Заводские испытания системы ПТВН

В настоящем пункте приведено описание заводских испытаний и наладки устройств управления системы ПТВН в заводских условиях, включая проведение имитационных испытаний в режиме реального времени.

После проведения типовых испытаний устройств управления и защиты системы ПТВН, как правило, выполняют проверку функционирования устройств управления и защиты системы ПТВН в ходе заводских испытаний системы ПТВН перед отгрузкой оборудования на место эксплуатации.

В ходе заводских испытаний системы ПТВН существует возможность настройки параметров систем управления и подтверждения соответствия рабочих характеристик оборудования предусмотренным требованиям.

Также можно проверить рабочие характеристики защитных функций преобразователя при моделировании различных неисправностей. Это позволяет частично выполнить пусконаладочные работы на оборудовании вне *объекта*. Кроме этого, это дает возможность обнаружить и устранить ошибки или дефекты в аппаратном оборудовании и в программном обеспечении систем управления и защиты.

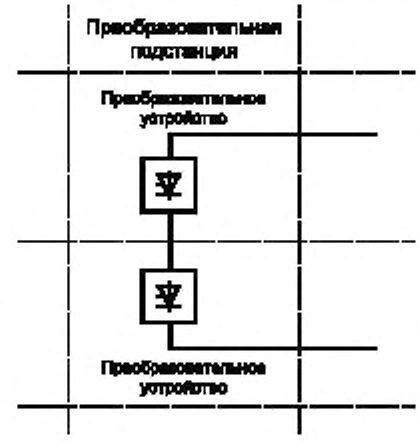
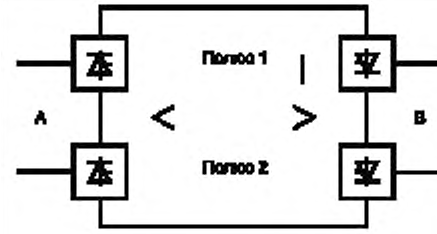
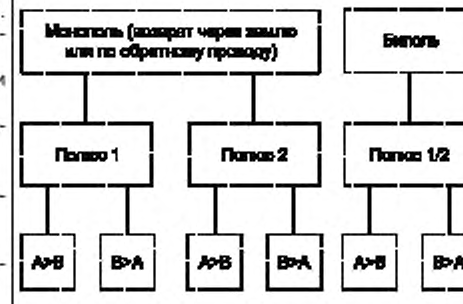
Испытания	Конфигурация
Испытания на преобразовательной подстанции (см. раздел 5). 1) Испытания преобразовательного устройства (см. 5.2). 2) Подача напряжения на *фильтрокомпенсирующие* компоненты *оборудования (см. 5.3):* - фильтры переменного тока; - конденсаторные батареи; - реакторы. 3) Изменение конфигурации системы постоянного тока (см. 5.4). 4) Электромагнитная совместимость (см. 5.5). 5) Испытание срабатывания выключателей (см. 5.6). 6) Испытание при разомкнутой линии постоянного тока (см. 5.7). **7) Испытание методом взаимной нагрузки (испытания «*по кругу*») (см. 5.8).** **8) Испытание при коротком замыкании на стороне постоянного тока (см. 5.9).** Примечание — Полужирным шрифтом выделены специальные нагрузочные испытания, проводимые согласно 5.1.2.5.	
Испытания при передаче электроэнергии (см. раздел 6). 1) Испытания при передаче электроэнергии (см. 6.1): - последовательности пуска и отключения, работа в установившемся режиме; - последовательности действий защит, блокировок и отключений; - постепенное изменение мощности и тока. 2) Переход между режимами ручного управления (см. 6.2): - место управления; - режим управления; - режим управления реактивной мощностью; - *переход от номинального напряжения к пониженному напряжению;* - автоматическое управление мощностью постоянного тока. 3) Изменение конфигурации постоянного тока (см. 6.3). 4) Коммутация оборудования подстанции (см. 6.4): - трансформаторы и переключатели *отпаек;* - фильтры переменного тока и устройства для компенсации реактивной мощности; - фильтры постоянного тока. 5) Испытание динамических рабочих характеристик (см. 6.5). 6) Искусственные короткие замыкания в системе переменного и постоянного тока (см. 6.6). 7) Отказы телекоммуникационного, вспомогательного или дублирующего оборудования (см. 6.7). 8) Испытания при передаче электроэнергии высокой мощности (см. 6.8): - измерение системных параметров; - функциональные характеристики системы управления реактивной мощностью; - перегрузка/повышение температуры; - эффективность подавления гармоник и номинальные параметры компонентов фильтров; - акустический шум; - нагрузочные испытания; - испытания для определения уровня электромагнитных помех; - испытания заземляющего электрода.	 Конфигурация 
Опытная эксплуатация (см. раздел 7)	

Рисунок 4 — Схема программы испытаний системы ПТВН

При проведении заводских испытаний системы ПТВН допускается применение моделирования в режиме реального времени и (или) программных моделей, *а также физических моделей*. Может применяться автономное программное обеспечение имитационного моделирования для расчета коротких замыканий, перенапряжений и перетоков мощности, при этом модель в реальном масштабе времени может использоваться для проведения комплексных функциональных испытаний рабочих характеристик системы управления.

При проведении заводских испытаний системы ПТВН необходимо выполнить полную проверку системы управления и защиты. Разрешается исключить проверку регистраторов неисправностей и последовательностей событий, если такие устройства работают автономно от основного оборудования. Если такие регистраторы не проверяют в ходе заводских испытаний системы ПТВН, то достоверность выходных сигналов, поступающих на них, должна быть проверена во время испытаний *на объекте*.

Поиск и устранение неисправностей в аппаратном оборудовании и программном обеспечении системы управления является важной составляющей программы испытаний, проводимых вне *объекта*. Такие неисправности проще выявить и устранить *при заводских испытаниях*, чем в ходе испытаний на *объекте* и при наладке оборудования. Устранение упомянутых неисправностей уменьшает вероятность нарушений в работе электроэнергетической системы заказчика во время испытаний системы ПТВН на месте эксплуатации.

4.6.2 Дополнительные имитационные испытания, предшествующие испытаниям на месте эксплуатации

Если условия сети переменного тока на этапе ввода в эксплуатацию отличаются от условий на этапе проектирования системы ПТВН, то необходимо проведение дополнительных имитационных испытаний по требованию эксплуатирующей организации.

Дополнительные имитационные испытания предоставляют следующие возможности:

a) настройка параметров систем управления и предварительная проверка соответствия рабочих характеристик оборудования предъявляемым требованиям;

b) проверка рабочих характеристик защитных функций преобразователя с моделированием различных неисправностей;

c) выявление и устранение неисправностей в аппаратном оборудовании и программном обеспечении системы управления, которые проще осуществить в ходе *заводских испытаний*, чем в ходе испытаний на объекте и при наладке оборудования, что также уменьшает вероятность нарушений в работе электроэнергетической системы заказчика во время испытаний системы ПТВН на *объекте*.

4.7 *Приемо-сдаточные* испытания

Приемо-сдаточные испытания, необходимые для проверки соблюдения критериев приемки, могут выполняться полностью или частично на этапе пусконаладки. Во избежание ненужного дублирования таких испытаний следует заблаговременно определить сроки проведения *приемо-сдаточных* испытаний. В случае если *приемо-сдаточные* испытания еще не проведены либо требуется их повторение ввиду внесения изменений, их следует проводить во время испытаний при передаче электроэнергии либо после опытной эксплуатации, в зависимости от обстоятельств.

4.8 Мероприятия по обеспечению измерений при испытаниях

При испытаниях необходимо использовать средства измерения и регистрации, входящие в состав системы управления системой ПТВН, системы сбора и регистрации информации.

Условия и методы испытания оборудования системы при подаче напряжения установлены в *ГОСТ Р 55193*.

При испытаниях используют поверенные измерительные системы (делители напряжения, измерительные устройства: цифровые измерительные системы, амплитудные вольтметры, осциллографы и др.).

Условия и методы испытания оборудования на электромагнитную совместимость — по *ГОСТ IEC 61000-4-3*.

Методы и средства, используемые при измерении шума, установлены в *ГОСТ Р 53188.1*, *ГОСТ 17168*, *ГОСТ 12.1.001*, *ГОСТ ISO 9612*.

4.9 Мероприятия по обеспечению безопасности при испытаниях

Все испытания должны выполняться квалифицированным персоналом с соблюдением требований безопасности.

Примечание — Дополнено с целью учета особенностей терминологии, нормативной документации и порядка проведения испытаний систем постоянного тока высокого напряжения, применяемых в Российской Федерации.

5 Испытания на преобразовательной подстанции

5.1 Общие положения

5.1.1 Технические характеристики по условиям соблюдения требований окружающей среды

В настоящем пункте приведено описание испытаний комплекса оборудования каждой преобразовательной подстанции и испытания линии передачи ПТВН перед передачей энергии. Эти испытания проводят перед испытаниями режима передачи электроэнергии.

В программу испытаний необходимо включить проверку на соответствие технических характеристик условиям соблюдения требований окружающей среды. Возможен предварительный мониторинг параметров акустического шума, *уровней электромагнитных излучений от установок переменного и постоянного тока,* уровней помех от радиоустройств и устройств высокочастотной связи (ВЧ-связи) по линии электропередачи, а также повышение температуры основного оборудования, как описано в разделе 6. Фактическое измерение упомянутых выше количественных параметров должно быть проведено во время комплексных испытаний.

5.1.2 Основные задачи

5.1.2.1 Общая информация

В ходе испытаний преобразовательной подстанции выполняют проверку всего оборудования (поузловые и индивидуальные испытания) преобразовательной *подстанции*, после чего можно приступать к испытаниям системы при передаче электроэнергии.

Испытания преобразовательной подстанции можно разделить на испытания на отключение, испытания с подачей низкого напряжения, испытания с подачей высокого напряжения, испытания при размыкании линии и нагрузочные испытания.

5.1.2.2 Испытания с подачей низкого напряжения/проверка фаз

Перед апробированием высоким напряжением следует провести испытания под низким напряжением *оборудования подстанции* и системы управления отпиранием преобразователя для проверки синхронизации фаз. Целью испытаний является проверка фазовой синхронизации *оборудования подстанции* и системы управления.

5.1.2.3 Подача высокого напряжения

При включении высокого напряжения выполняют проверку изоляции напряжения оборудования подстанции переменного и постоянного тока.

5.1.2.4 Испытание при разомкнутой линии

Испытания при разомкнутой линии выполняют с целью подтверждения выдерживания изоляцией заданного напряжения, а также для проверки надлежащего функционирования системы управления отпиранием преобразователя и *шкафов управления*.

5.1.2.5 Специальные нагрузочные испытания

Нагрузочные испытания (методом взаимной нагрузки или испытания при коротком замыкании) могут проводиться по указанию эксплуатирующей организации с целью предварительного подтверждения рабочих характеристик системы управления, системы охлаждения вентилей и *оборудования подстанции* в плане повышения температуры, акустического шума и помех в радиодиапазоне. Окончательную проверку этих систем выполняют во время испытаний при передаче электроэнергии.

5.1.3 Общие *основные* условия испытаний

Перед началом испытаний преобразовательной подстанции должна быть завершена проверка без подключения напряжения следующего оборудования и подготовка этого оборудования к работе:

a) распределительное устройство переменного тока;

b) фильтры переменного тока, конденсаторные батареи и шунтирующие реакторы;

c) фильтры и распределительное устройство постоянного тока;

d) трансформаторы преобразователя;
e) тиристорные вентили и система охлаждения;
f) вспомогательные системы подстанции,
g) система пожаротушения;
h) системы защиты на стороне переменного и постоянного тока;
i) система управления;
j) линия или кабель постоянного тока (для испытаний на разомкнутой линии);
k) *протокол* событий;
l) система аварийной сигнализации;
m) регистраторы аварийных событий.

Перед проведением испытаний преобразовательной подстанции необходимо разработать подробные *методики* и программы испытаний. Так как при проведении испытаний возможно возникновение возмущений или повышение риска для систем переменного тока, необходимо провести их согласование с операторами примыкающих энергосистем.

5.2 Испытания преобразовательного устройства

5.2.1 Цель испытаний

В ходе испытаний подтверждается достижение выдерживаемого напряжения изоляции при подаче напряжения на преобразовательное устройство, фазировка и порядок чередования фаз.

5.2.2 *Основные* условия испытаний

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) Следует убедиться в том, что все устройства управления и защиты оборудования высокого напряжения проверены и находятся в работе. Перед подачей высокого напряжения необходимо провести испытание *срабатывания выключателей* (см. 5.6).

b) Измерительные приборы системы мониторинга должны быть подключены и готовы к работе.

c) Все зажимы должны быть затянуты, а изоляторы очищены с помощью ветоши.

d) Разъединитель линии ПТВН должен быть разомкнут и заблокирован в отключенном положении.

e) Должны быть выполнены все процедуры техники безопасности.

f) Необходимо провести окончательный визуальный осмотр высоковольтного оборудования и зафиксировать показания счетчика *ограничителя перенапряжений*.

g) Сторона низкого напряжения вентилей должна быть заземлена.

h) Сторона низкого напряжения вентилей должна быть разомкнута (отключена от нагрузки).

5.2.3 Порядок испытаний

5.2.3.1 Подача низкого напряжения

Ниже приведены условия испытаний:

a) в ходе испытаний осуществляют мониторинг всех внутренних контрольных напряжений на устройствах управления и отпирающих импульсов вентилей,

b) испытания могут быть выполнены посредством приложения напряжения от 0,5 до 10 кВ к линейной стороне или к вентильной стороне преобразовательных трансформаторов при условии закорачивания всех тиристоров, за исключением одного или нескольких тиристоров в каждом вентиле;

c) в качестве нагрузки на стороне постоянного тока можно использовать соответствующий резистор или реактор;

d) каждый отдельный вентиль представлен одной тиристорной ячейкой. При проведении испытаний с подачей низкого напряжения вентили преобразователя *отпирают*, и преобразователь работает в нормальном режиме или в режиме испытаний при разомкнутой линии.

Примечание — Альтернативный подход проверки правильности подключения фаз преобразователя и преобразовательного трансформатора заключается в проведении тщательной визуальной проверки схемы подключений на предмет соответствия требованиям документации. При этом проводят проверку на предмет того, что устройство управления передает отпирающий импульс на соответствующий тиристор.

5.2.3.2 Подача высокого напряжения

Ниже приведены условия испытаний.

a) При запертых вентилях преобразователя подать напряжение на преобразовательный трансформатор и проверить фазировку и порядок чередования фаз с использованием системы управления.

b) Убедиться в том, что переключатели отпаек преобразовательного трансформатора установлены в самое высокое положение (что соответствует наименьшему напряжению на стороне вентилей), после чего выполнить переключение отпаек, повысив напряжение до номинального.

c) Поддерживать напряжение на трансформаторе не менее 6 ч.

d) Зафиксировать величины напряжения, тока в установившемся режиме и пускового тока, осмотреть оборудование для выявления посторонних шумов и коронных разрядов во время испытаний.

5.2.3.3 Критерии приемлемости результатов испытаний

Критерии приемлемости результатов испытаний:

a) отсутствие посторонних шумов и коронных разрядов на находящемся под напряжением оборудовании;

b) нормальное функционирование всех защитных устройств;

c) параметры *оборудования* должны находиться в заданных диапазонах.

5.3 Подача напряжения на *фильтрокомпенсирующие компоненты* оборудования

5.3.1 Общие положения

На первом этапе подачу напряжения на *фильтрокомпенсирующие компоненты оборудования,* а именно фильтры переменного тока, конденсаторные батареи и шунтирующие реакторы, следует осуществлять по отдельности. Комбинированное включение этих компонентов описано в разделе 6.

5.3.2 Цель испытаний

Ниже перечислены цели испытаний.

a) Проверка изоляции оборудования.

b) Проверка *фазовой симметрии* фильтров, конденсаторных батарей и шунтирующих реакторов.

c) Подтверждение значений токов холостого хода и *защитных уровней.*

5.3.3 *Основные* условия испытаний

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) Убедиться в том, что все устройства управления и защиты (основные и резервные) оборудования высокого напряжения проверены и находятся в работе. Перед подачей высокого напряжения необходимо провести испытание на отключение.

b) Завершить настройку фильтров переменного тока.

c) Параметры фильтров переменного тока и шунтирующих конденсаторных батарей должны быть пофазно сбалансированы.

d) Все зажимы должны быть затянуты, а изоляторы очищены с помощью ветоши.

e) Должны быть выполнены все процедуры техники безопасности.

f) Необходимо провести окончательный визуальный осмотр высоковольтного оборудования и записать показания счетчика срабатывания ограничителей перенапряжений.

5.3.4 Порядок испытаний

Процедура испытаний приведена ниже.

a) Подать поочередно напряжение на фильтры переменного тока, конденсаторные батареи и шунтирующие реакторы.

b) Все фильтры переменного тока, конденсаторные батареи и шунтирующие реакторы должны находиться под напряжением не менее 2 ч.

c) Зафиксировать величины напряжения, тока в установившемся режиме и пускового тока, осмотреть оборудование для выявления посторонних шумов и коронных разрядов во время испытаний.

5.3.5 Критерии приемлемости результатов испытаний

Критерии приемлемости результатов испытаний приведены ниже:

a) отсутствие посторонних шумов и коронных разрядов на находящемся под напряжением оборудовании;

b) нормальное функционирование всех защитных устройств;

c) параметры фильтров переменного тока и конденсаторных батарей должны быть сбалансированы по фазам в соответствии с расчетными допусками.

5.4 Изменение конфигурации системы постоянного тока

5.4.1 Общие положения

Изменение конфигурации системы постоянного тока может быть относительно простым в двухподстанционных передачах постоянного тока, содержащих одно преобразовательное устройство в полюсе.

Операции переключения становятся более сложными, если полюса подстанции содержат преобразователи, подключенные параллельно или последовательно. Это испытание должно продемонстрировать то, что оборудование, выключатели, разъединители и заземляющие переключатели работают в надлежащей последовательности. Изменение конфигурации системы постоянного тока под нагрузкой описано в разделе 6.

Команды на изменение конфигурации системы постоянного тока могут формироваться в автоматическом режиме при совместном управлении или в ручном режиме с местного пульта управления или из удаленного диспетчерского пункта. При работе в режиме ручного или раздельного управления на передающей и приемной подстанциях операторы должны координировать свои действия посредством голосовой связи.

Примечания

1 Совместное управление означает, что вся система ПТВН управляется из одного удаленного или местного диспетчерского пункта, в этом случае требуется телекоммуникационная связь между подстанциями. Раздельное управление означает, что управление передающей и приемной подстанциями осуществляется раздельно при отсутствии телекоммуникационной связи между подстанциями. Координация команд управления и защиты между подстанциями осуществляется в ручном режиме.

2 Поскольку определения «совместное управление» и «раздельное управление» вводятся в настоящем стандарте впервые и используются далее по тексту, то необходимо пояснить их значение.

5.4.2 Цель испытаний

Данное испытание предназначено для проверки возможности безопасного и корректного изменения конфигурации системы постоянного тока в соответствии с командами перед первым ее включением в режиме передачи электроэнергии.

5.4.3 *Основные* условия испытаний

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) Должны быть завершены *заводские* испытания для проверки возможности изменения конфигурации системы постоянного тока.

b) Все необходимое коммутирующее оборудование переменного и постоянного тока должно быть введено в работу.

c) Должны быть подготовлены руководства по эксплуатации и программы испытаний.

5.4.4 Порядок испытаний

Должна быть продемонстрирована возможность перехода между определенными конфигурациями системы постоянного тока. Изменения конфигурации необходимо производить из следующих исходных конфигураций:

- возврат тока через землю для монополярной системы;
- возврат тока через обратный провод для монополярной системы;
- биполярная схема;
- параллельное или последовательное включение преобразователей.

Испытания проводят с отключенной системой телекоммуникации, а затем с включенной системой телекоммуникации.

Испытания проводят в следующем порядке.

a) Установить голосовую связь между операторами на преобразовательных подстанциях.

b) Выключить систему телекоммуникации.

c) Сбросить все аварийные сигналы.

d) Выбрать первоначальную конфигурацию системы постоянного тока в соответствии с инструкциями по эксплуатации. Эта процедура должна быть выполнена поэтапно, с привлечением операторов на каждой преобразовательной подстанции.

e) Проверить правильность переключений на панели управления оператора и регистраторе последовательности событий. Выполнить моделирование отказов последовательности переключений.

f) Повторить проверку для всех применимых конфигураций системы постоянного тока.

g) Восстановить работу телекоммуникации.

h) Повторить испытания, на этот раз в автоматическом режиме и режиме совместного управления.

5.4.5 Критерии приемлемости результатов испытаний

Критерии приемлемости результатов испытаний приведены ниже.

a) Последовательности переключений между всеми применимыми конфигурациями системы постоянного тока должны быть осуществлены корректно при включенной и отключенной системе телекоммуникации.

b) Все последовательности переключений должны быть безопасно и правильно завершены.

c) Блокировки заземляющих переключателей, размыкающих переключателей и выключателей на стороне переменного и постоянного тока должны производиться в соответствии с техническими условиями.

d) Следует подтвердить возможность команды на изменение конфигурации системы постоянного тока с помощью локальных и, если имеются, удаленных панелей управления.

e) Все незавершенные последовательности переключений должны быть остановлены в безопасном состоянии.

5.5 Электромагнитная совместимость

5.5.1 Цель испытаний

Испытания могут проводиться, если это предусмотрено эксплуатирующей организацией, на каждой подстанции и на каждом полюсе индивидуально. Испытания подтверждают отсутствие проблем с электромагнитной совместимостью шкафов управления с оборудованием.

5.5.2 *Основные* условия испытаний

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) Все основное оборудование на стороне переменного и постоянного тока тестируемой подстанции должно быть отключено от источника питания.

b) Все устройства управления и защиты (основные и резервные) оборудования высокого напряжения необходимо проверить и ввести в работу.

c) Все системы аварийной сигнализации и мониторинга (включая запись последовательности событий) следует проверить и ввести в работу.

Все шкафы системы управления и защиты и расположенные в них устройства должны быть под напряжением.

Должны быть выполнены все процедуры техники безопасности.

Необходимо провести окончательный визуальный осмотр высоковольтного оборудования и записать показания счетчика срабатывания ограничителей перенапряжения.

Испытательное оборудование, в том числе переносные радиостанции или мобильные телефоны, должны быть проверены и находиться в работе. Мощность излучения испытательного оборудования должна находиться в пределах от 3 до 5 Вт.

5.5.3 Порядок испытаний

5.5.3.1 Общие положения

При проверке на электромагнитную совместимость могут использоваться различные источники помех, которые перечислены ниже.

5.5.3.2 Порядок испытаний с помощью *источника помех*

Процедура испытаний приведена ниже.

a) Убедиться в том, что тестируемые шкафы и устройства управления и защиты находятся под напряжением.

b) Убедиться в том, что двери шкафов управления оборудования постоянного тока закрыты.

c) Поместить источник помех вначале спереди, а затем сзади двери каждого шкафа на панели управления и включить источник помех *в соответствии с его техническим описанием*. Расстояние между источником помех и дверями шкафа на панели управления необходимо определять согласно *ГОСТ IEC 61000-4-3*. Длительность каждого периода излучения должна быть не менее 10 с.

d) Контролировать оборудование во время испытания на предмет посторонних звуков и явлений.

5.5.3.3 Порядок испытаний посредством включения и отключения шинопровода переменного тока

Процедура испытаний приведена ниже.

a) Убедиться в том, что все шкафы и устройства управления и защиты находятся под напряжением.

b) Включить отсоединенный шинопровод переменного тока, расположенный ближе всего к пульту управления подстанции.

c) Отключить упомянутый шинопровод.

d) Контролировать оборудование во время испытания на предмет посторонних шумов и явлений.

5.5.4 Критерии приемлемости результатов испытаний

В ходе испытаний не допускается появление непредусмотренных управляющих действий.

5.6 Испытание *срабатывания выключателей*

5.6.1 Общие положения

Испытание проводят для каждой расцепляющей катушки выключателей на преобразовательной подстанции и каждого полюса перед подачей напряжения на фильтры переменного тока и трансформаторы.

5.6.2 Цель испытаний

Ниже перечислены цели испытаний.

а) Проверка исправности цепей защитного отключения оборудования на преобразовательной подстанции.

б) Проверка последовательности и работоспособности *защитного отключения на стороне переменного тока*.

5.6.3 *Основные* условия испытаний

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) Все оборудование на стороне переменного и постоянного тока испытуемой подстанции должно быть отключено от сети.

b) Все устройства управления и защиты (основные и резервные) оборудования высокого напряжения необходимо проверить и ввести в работу.

c) Все системы аварийной сигнализации и мониторинга (включая запись последовательности событий) следует проверить и ввести в работу.

d) Должны быть выполнены все процедуры техники безопасности.

e) Необходимо провести окончательный визуальный осмотр высоковольтного оборудования и зафиксировать показания счетчиков *ограничителей перенапряжений*.

5.6.4 Порядок испытаний

5.6.4.1 Общие положения

Сигналы на отключение могут быть поступать *от различных устройств* (см. ниже).

5.6.4.2 Испытание функции защитного отключения контура постоянного тока

Подать сигнал на отключение выключателя от цепи защиты контура постоянного тока, после чего должен сработать выключатель на стороне переменного тока.

5.6.4.3 Испытание функции защитного отключения фильтра переменного тока и шунтирующего конденсатора

Подать сигнал на отключение выключателя испытываемой защитной цепи фильтра переменного тока и шунтирующего конденсатора, что должно привести к срабатыванию выключателя фильтра (конденсатора) переменного тока.

5.6.4.4 Испытание на отключение при нажатии кнопки аварийного отключения

Нажать кнопку аварийного отключения на пульте управления. Это должно привести к срабатыванию выключателя на стороне переменного тока.

5.6.5 Критерии приемлемости результатов испытаний

Критерии приемлемости результатов испытаний приведены ниже.

a) Выключатель переменного тока преобразовательного трансформатора должен отключаться надлежащим образом вследствие выполнения функции срабатывания защиты по сигналу защит *контура* постоянного тока или при ручном нажатии кнопки аварийного отключения.

b) Выключатель переменного тока каждого фильтра переменного тока или шунтирующего конденсатора должен отключаться надлежащим образом по команде соответствующей цепи защитного отключения.

c) Не допускается появление *излишних* аварийных сигналов или событий.

5.7 Испытание при разомкнутой линии *постоянного тока*

5.7.1 Цель испытаний

Испытание при разомкнутой линии можно не выполнять, если необходимые опыты были выполнены в ходе других испытаний.

Испытание проводят для проверки состояния и устойчивости подачи напряжения на сторону постоянного тока и в контур передачи постоянного тока. Данное испытание позволяет определить состояние линий и кабелей ПТВН. Испытания проводят последовательно. Первым проводят испытание при отключенной линии постоянного тока от распределительного устройства.

Испытание при отключенной линии постоянного тока от распределительного устройства может проводиться на обеих преобразовательных подстанциях системы ПТВН одновременно.

Испытание на разомкнутой линии постоянного тока проводят с каждой стороны преобразовательной подстанции ПТВН поочередно, предпочтительно сначала провести испытания на преобразовательной подстанции с наибольшим рабочим напряжением.

5.7.2 *Основные* условия испытаний

5.7.2.1 Испытание при отключенной линии постоянного тока от распределительного устройства

Ниже приведены основные условия испытаний.

a) Преобразовательные трансформаторы должны быть подключены к сети.

b) Все устройства управления и защиты, связанные с преобразовательными трансформаторами и распределительным устройством постоянного тока, включая делители напряжения, должны быть проверены и находиться в рабочем состоянии. Незадолго до подачи высокого напряжения необходимо провести испытание на отключение. Рекомендуется *предварительное* подключение к источнику питания низкого напряжения.

c) Измерительные устройства системы мониторинга должны быть подключены и быть готовы к работе.

d) Все зажимы должны быть затянуты, а изоляторы очищены с помощью ветоши.

e) Разъединитель линии передачи электроэнергии ПТВН должен быть разомкнут и заблокирован в разомкнутом положении.

f) Должны быть выполнены все процедуры техники безопасности.

g) Необходимо провести окончательный визуальный осмотр распределительного устройства постоянного тока и зафиксировать показания счетчика *ограничителя перенапряжений*.

h) Необходимо завершить точную настройку параметров фильтра переменного тока.

5.7.2.2 Испытание при разомкнутой линии передачи постоянного тока

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) На распределительное устройство постоянного тока должно быть подано напряжение питания.

b) Все системы управления и защиты необходимо протестировать и ввести в работу.

c) Контур передачи электроэнергии постоянного тока должен быть готов к включению.

d) Вторая преобразовательная подстанция должна быть отключена от линии постоянного тока.

e) Система голосовой связи должна быть готова к использованию.

f) Должны быть выполнены все процедуры техники безопасности.

g) Нейтраль преобразователя должна быть подключена к заземляющему электроду, а полюс высокого напряжения должен быть подключен к линии или кабелю постоянного тока.

5.7.3 Порядок испытаний

5.7.3.1 Испытание при отключенной линии постоянного тока от распределительного устройства

Процедура испытаний приведена ниже.

a) Присоединить нейтраль преобразователя к земле или к заземляющему электроду (если имеется).

b) Подать напряжение на преобразовательный трансформатор при наименьшем напряжении на вентильной стороне и выполнить переключение с помощью переключателя отпаек трансформатора для достижения номинального напряжения.

c) *Отпереть* преобразователь в режиме испытания при отключенной линии постоянного тока и медленно повысить напряжение постоянного тока до номинального значения.

d) *Длительность испытаний не более* 30 мин.

e) После успешного завершения испытаний уменьшить напряжение на стороне постоянного тока до нуля и заблокировать преобразователь.

f) Повторить испытания с подключенными фильтрами постоянного тока сначала по очереди с каждым фильтром, а затем одновременно со всеми фильтрами.

g) При наличии нескольких групп вентилей в каждом полюсе (*в передачах ультравысокого напряжения каждый полюс подстанции обычно формируется двумя последовательно соединенными 12-импульсными группами вентилей*) следует вначале подать напряжение на каждую группу, а затем на все одновременно.

h) При проведении испытаний необходимо фиксировать величины напряжения переменного и постоянного токов. Контролировать оборудование в ходе испытаний на предмет посторонних шумов, коронных разрядов и частичных разрядов.

5.7.3.2 Испытание при разомкнутой линии передачи постоянного тока

Процедура испытаний приведена ниже.

a) Подать напряжение на преобразовательный трансформатор и выполнить переключение с помощью переключателя отпаек трансформатора для достижения номинального напряжения.

b) *Отпереть* преобразователь в режиме испытания при разомкнутой линии и медленно повысить напряжение на стороне постоянного тока до требуемого значения. При этом уровень напряжения постоянного тока не должен превышать уровень прочности изоляции на другом конце линии передачи.

c) Длительность испытаний не более 30 мин.

d) При проведении испытаний необходимо фиксировать величины напряжения переменного и постоянного токов. Контролировать оборудование в ходе испытаний на предмет посторонних шумов, коронных разрядов и образования частичных разрядов.

e) После успешного завершения испытаний уменьшить напряжение постоянного тока до нуля и заблокировать преобразователь.

f) Повторить испытание для каждой линии или кабеля и каждого полюса, если имеются.

5.7.4 Критерии приемлемости результатов испытаний

5.7.4.1 Испытание при отключенной линии постоянного тока от распределительного устройства

Критерии приемлемости результатов испытаний приведены ниже.

a) Отсутствие посторонних шумов и коронных разрядов на находящемся под напряжением оборудовании.

b) Нормальное функционирование всех защитных устройств.

c) Возможность достижения проектного значения напряжения на стороне постоянного тока.

5.7.4.2 Испытание при разомкнутой линии передачи постоянного тока

Критерии приемлемости результатов испытаний приведены ниже.

a) Нормальное функционирование всех защитных устройств.

b) При разомкнутой на втором конце линии постоянного тока достигнуто расчетное напряжение постоянного тока.

5.8 Испытание методом взаимной нагрузки (*испытания «по кругу»*)

5.8.1 Общие положения

Для биполярных систем ПТВН может быть проведено испытание в режиме вставки, если линия передачи электроэнергии еще не сооружена, а оба полюса сооружены. Такие испытания также могут проводиться для уменьшения возмущений в примыкающей системе переменного тока. При испытаниях в режиме вставки один полюс биполярной преобразовательной подстанции используется в качестве выпрямителя, а второй — в качестве инвертора. Преобразователи могут быть соединены напрямую или через линию постоянного тока или ее часть. Во втором случае перед этим испытанием необходимо провести испытания при разомкнутой линии передачи электроэнергии в соответствии с указаниями в 5.7. Испытание в режиме вставки позволяет провести эффективную общую проверку работы преобразователя при неполной нагрузке. Однако для проведения таких испытаний может потребоваться внесение корректировок в алгоритмы системы управления.

При проведении этих испытаний не требуется телекоммуникационная система.

5.8.2 Цель испытаний

Испытание методом взаимной нагрузки предназначено для промежуточной проверки системы управления, системы охлаждения вентилей и оборудования силовой схемы на предмет повышения температуры.

Обнаруженные в результате испытаний неисправности можно устранить на каждой преобразовательной подстанции в отдельности, тем самым подготовив систему к проведению испытаний в режиме передачи мощности. Возможны проверки систем регулирования тока, активной и реактивной мощности, при этом каждый полюс преобразователя работает и как выпрямитель, и как инвертор.

5.8.3 Основные условия испытаний

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) Необходимо провести опробование напряжением фильтров переменного тока, конденсаторных батарей и шунтирующих реакторов.

b) Преобразовательные трансформаторы, вентили (фильтры распределительного устройства постоянного тока, если имеются) и распределительное устройство должны быть подключены к источнику питания.

c) Необходимо подключить преобразователи между собой напрямую или через часть контура передачи электроэнергии постоянного тока по временной схеме.

d) Сглаживающий реактор постоянного тока должен быть подключен последовательно с преобразовательными устройствами.

e) При необходимости нужно внести временные изменения в алгоритмы и параметры системы управления.

f) Должны быть выполнены все процедуры техники безопасности.

Необходимо учитывать возможность отключения преобразователей в ходе испытаний. В случае отключения система защиты должна обеспечить надлежащую защиту шины переменного тока подстанции посредством ограничения уровня и длительности повышения напряжения до приемлемых значений. Для этого может быть введено ограничение на максимально допустимый постоянный ток. Если примыкающая система переменного тока характеризуется низким отношением короткого замыкания, то следует *обеспечить автоматику* для отключения всех фильтров при блокировке преобразователя (если она не была установлена ранее).

5.8.4 Порядок испытаний

Два преобразователя должны быть подключены друг к другу по временной схеме. Такое подключение должно быть рассчитано на максимальный испытательный ток. Реактивная мощность должна изменяться вместе с изменением величины постоянного тока в соответствии с расчетными величинами во время передачи электроэнергии. Фильтры гармоник переменного тока и шунтирующие батареи должны использоваться для уменьшения перетоков реактивной мощности между преобразователями и сетью переменного тока.

Необходимо выполнить испытания и измерения для проверки следующих функций и характеристик оборудования.

- *отпирание* и *запирание* преобразователей;
- плавное увеличение тока до максимального испытательного тока, включая проверку цепей измерения тока;
- надлежащее функционирование системы регулирования тока, мощности, автоматического управления переключателем отпаек трансформатора и регулирования реактивной мощности;
- значения измеренных сигналов для защиты фильтров переменного тока и защиты трансформаторов. Выполнить корректировку при необходимости;
- приемлемая температура оборудования, отсутствие мест локального перегрева;
- надлежащие характеристики системы охлаждения вентилей в установившемся и переходном режимах;
- надлежащие последовательности коммутаций в системе питания собственных нужд (или вспомогательной силовой установки), которые сначала должны быть выполнены при низких уровнях постоянного тока;
- надлежащее функционирование схем резервирования должно быть проверено, например, путем моделирования отказов устройств или выполнения функций в тех случаях, когда предусмотрено резервирование оборудования.

При работе в режиме вставки, даже если угол выпрямителя близок к номинальному значению, возможно изменение угла в зависимости от величины постоянного тока, что приведет к изменению фазового угла между гармониками выпрямителя и инвертора. Некоторые гармоники могут оказаться в противофазе друг к другу, что приведет к значительному уменьшению токов в фильтре. Этот факт следует принимать во внимание при наблюдении за нагрузкой на фильтрах переменного тока.

5.8.5 Критерии приемлемости результатов испытаний

Критерии приемлемости результатов испытаний приведены ниже.

a) Преобразователь должен функционировать надлежащим образом.

b) Температура оборудования должна находиться в заданных пределах. Не должно наблюдаться мест локального перегрева.

c) Не должно наблюдаться отклонений от первоначальной оценки в производительности систем охлаждения тиристорных вентилей, трансформаторов, реакторов, зданий и помещений, в которых установлены вентили.

d) Нормальное функционирование всех защитных устройств.

5.9 Испытание при коротком замыкании *на стороне постоянного тока*

5.9.1 Общие положения

По указанию эксплуатирующей организации испытания при коротких замыканиях могут проводиться на монополярной системе постоянного тока или в тех случаях, когда регламенты или прочие ограничения не позволяют провести испытания методом взаимной нагрузки («по кругу»).

5.9.2 Цель испытаний

Испытания предназначены для проверки системы управления перед проведением испытаний в режиме передаче электроэнергии.

5.9.3 *Основные* условия испытаний

Основные условия испытаний при коротком замыкании такие же, что и для испытаний методом взаимной нагрузки (см. 5.8). При создании короткого замыкания необходимо подключить последовательно с преобразовательным устройством сглаживающий реактор постоянного тока.

Цепь постоянного тока при проведении данного испытания должна работать в режиме короткого замыкания при угле включения $\alpha \approx 90°$ ($U_d = 0$). Большие величины угла включения приводят к значительному увеличению потерь в демпфирующих цепях и на вентильных ограничителях перенапряжений. В качестве меры предосторожности следует ограничить длительность испытаний, интервал времени охлаждения между испытаниями должен быть *достаточный*.

Системы управления и защиты, которые должны были бы сработать в результате возникновения соответствующих условий в ходе испытаний, должны быть отключены безопасным способом.

5.9.4 Порядок испытаний

Испытания проводят при установленном в самое верхнее положение переключателе *отпаек* преобразовательного трансформатора (что соответствует наименьшему напряжению на вентильной стороне). В ходе испытаний проверяют корректность выполнения следующих функций:

a) *отпирание* и *запирание* преобразователей;

b) устойчивость системы регулирования тока.

5.9.5 Критерии приемлемости результатов испытаний

Система регулирования тока должна работать в устойчивом режиме.

6 Испытания при передаче электроэнергии

6.1 Испытания при передаче *малой мощности*

6.1.1 Общие положения

6.1.1.1 Общие характеристики

Испытание при передаче электроэнергии *малой* мощности относится к базовому набору испытаний, которые необходимо проводить при первом подключении преобразовательных подстанций к линии передачи постоянного тока.

Испытания должны быть организованы таким образом, чтобы ограничить возможное воздействие на оборудование системы ПТВН и подключенных систем переменного тока.

Необходимо выполнить испытания *в режиме малой мощности* во всех применимых конфигурациях системы ПТВН. Общая процедура испытаний приведена на рисунке 5.

Перед выполнением испытаний при передаче малой мощности необходимо выполнить испытания, описанные в разделе 5.

Примечание — Испытания на передачу энергии малой мощности также называют «базовыми эксплуатационными испытаниями».

6.1.1.2 Общие *основные* условия

Ниже приведены общие *основные* условия.

a) Должны быть завершены заводские испытания.

b) Должны быть завершены испытания на каждой преобразовательной подстанции.

c) В применимых случаях необходимо завершить испытания методом взаимной нагрузки или испытания при коротком замыкании *на стороне постоянного тока*.

d) В применимых случаях необходимо завершить испытания при разомкнутой линии передачи ПТВН.

e) Заземляющие электроды и линии заземляющих электродов должны быть проверены и допущены к эксплуатации.

f) Межстанционные телекоммуникационная и телефонная системы должны быть готовы к использованию.

g) Должны быть введены в действие общие процедуры проведения испытаний, правила техники безопасности, правила диспетчерской координации и распределения ответственности при проведении испытаний.

h) Должны быть проверены и введены в действие системы пожаротушения и пожарной сигнализации.

i) Должны быть проверены и введены в действие все системы управления, защиты, измерения и регистрации событий и неисправностей.

6.1.1.3 Общее применение

Испытания *в режиме малой мощности* предназначены для проверки надлежащей координации базовых функций управления и защиты системы ПТВН и согласованной работы систем управления преобразовательными подстанциями при малых уровнях мощности. Испытания проводят при различных конфигурациях систем переменного и постоянного тока и для применимых состояний отказа. Изменение конфигурации системы постоянного тока (согласно приведенным в 7.3 указаниям) или режима эксплуатации (согласно приведенным в 7.2 указаниям) следует вначале выполнять без приложения высокого напряжения (пробная эксплуатация или испытания без приложения напряжения).

Программа испытания должна быть разработана таким образом, чтобы все режимы, уровни управления и местоположения устройств управления прошли проверку без излишнего дублирования испытаний.

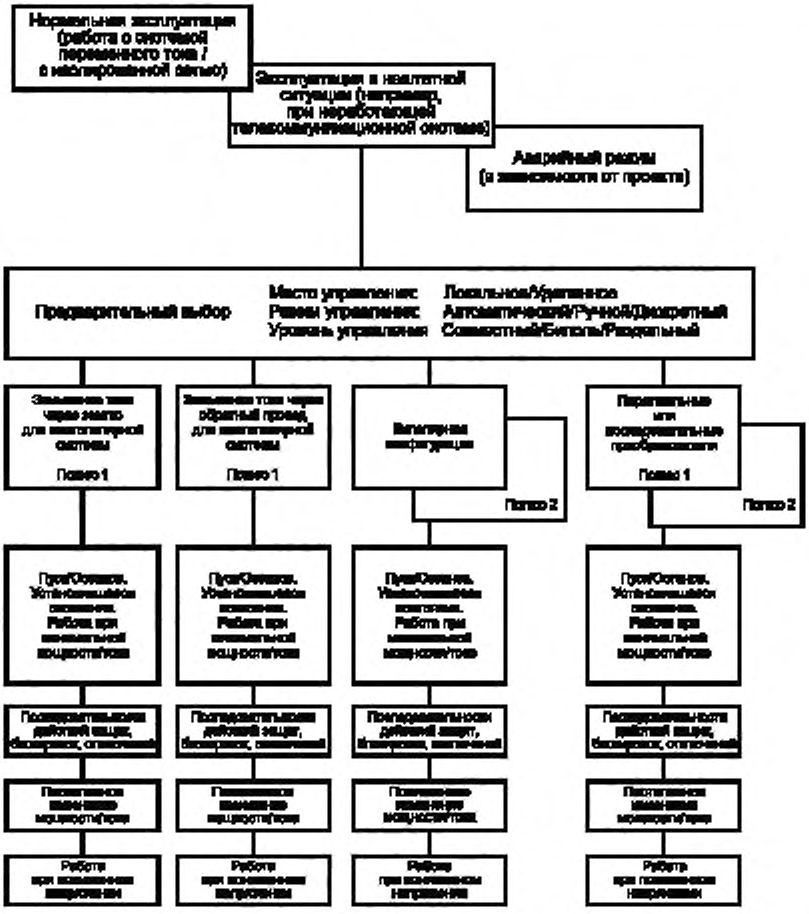


Рисунок 5 — Последовательность испытаний на передачу электроэнергии *малой* мощности

6.1.2 Последовательности *операций* при пуске и останове, работа в установившемся режиме при передаче малой мощности

6.1.2.1 Общие положения

При выполнении последовательностей операций при пуске и останове тиристорные вентили выпрямителя и инвертора должны быть *отперты*, а в цепи передачи электроэнергии ПТВН должен протекать электрический ток.

Последовательности операций при пуске и останове систем ПТВН могут быть разными в соответствии с принципами проектирования и системными требованиями. При выполнении конкретных последовательностей операций надлежит руководствоваться инструкциями изготовителей.

6.1.2.2 Цель испытаний

Ниже перечислены цели испытаний.

a) *Отпирание* каждого преобразователя в системе передачи электроэнергии ПТВН и передача малой мощности в первый раз в обоих направлениях перетока мощности, если *передача реверсивная*.

b) Проверка правильности выполнения управляющих воздействий, связанных с каждым изменением состояния, и последовательностей пуска и останова каждого полюса.

c) Проверка возможности плавного и безотказного начала и прекращения передачи малой мощности во всех применимых конфигурациях системы ПТВН.

d) Проверка правильности измерений параметров системы в установившемся режиме при малой мощности.

6.1.2.3 *Основные* условия испытаний

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) Должны быть завершены все необходимые испытания на преобразовательной подстанции.

b) Последовательности пуска и отключения системы управления должны быть протестированы с фиксацией результатов в ходе заводских испытаний и в ходе испытаний на объекте.

c) Должны быть введены в действие фильтры переменного и постоянного тока.

d) Оборудование охлаждения вентилей должно быть проверено на работоспособность и введено в действие.

e) Не должны появляться аварийные сигналы, влияющие на характеристики испытаний.

f) Результаты мониторинга тиристоров должны подтверждать *требуемую степень резервирования тиристоров*.

g) Должны быть проверены последовательности действий защит, блокировок и отключений. Все защитные блокировки должны быть сброшены.

h) Должны быть подготовлены руководства по эксплуатации и программы испытаний.

i) Примыкающие системы переменного тока должны быть способны передать или принять мощность, сохраняя при этом устойчивость.

6.1.2.4 Порядок испытаний

Процедура испытаний приведена ниже.

a) Перед началом испытаний должна быть подготовлена одна из конфигураций систем переменного и постоянного тока.

b) После подготовки конфигурации системы ПТВН можно выполнить тестирование рабочего состояния, начиная с режимов «остановлено» или «ожидание» («stopped» или «stand-by»). Изменение состояния необходимо производить при снятом напряжении. Подача напряжения на преобразователи на каждой *подстанции* может быть выполнена при изменении рабочего состояния на «заблокировано».

c) Установить голосовую связь между операторами на каждой преобразовательной подстанции и проверить исправность системы телекоммуникации.

d) Начать передачу энергии малой мощности, для чего сначала *отпереть* инвертор, а затем выпрямитель.

e) Сохранять малую мощность в течение короткого периода времени.

f) Заблокировать выпрямитель и инвертор.

g) Начать работу на малой мощности в автоматическом и совместном режимах.

h) Продолжать работу на малой мощности не менее 1 ч и фиксировать значения постоянного тока, напряжения и других параметров.

i) Дублирующие органы управления и прочие компоненты должны быть включены для проверки того, что они не оказывают влияния на передачу электроэнергии ПТВН или на сеть переменного тока.

j) В ходе испытаний необходимо вести контроль и не допускать локального перегрева оборудования, особенно вентилей преобразователей, преобразовательных трансформаторов, сглаживающих реакторов, проходных изоляторов и всех соединений оборудования преобразовательной подстанции.

k) В ходе испытаний необходимо вести контроль на предмет того, что система охлаждения вентилей поддерживает температуру вентилей в заданном диапазоне.

l) Испытания на пуск и отключение должны быть повторены для всех применимых конфигураций систем в режимах работы *с системой переменного тока и с изолированной сетью*.

m) Если передача реверсивная, то необходимо протестировать передачу электроэнергии в обратном направлении.

6.1.2.5 Критерии приемлемости результатов испытаний

Критерии приемлемости результатов испытаний приведены ниже.

a) Операции при пуске и останове должны быть надежно и безопасно осуществлены для каждой применимой конфигурации системы ПТВН.

b) Все управляющие действия должны быть выполнены в надлежащем порядке и в предусмотренное время, последовательности срабатываний систем управления и защит на приемной и передающей подстанциях должны осуществляться в предусмотренном порядке.

c) Не должно возникать отклонений в работе оборудования.

d) Номинальные характеристики оборудования не должны быть превышены.

e) Не должно возникать возмущений в системах переменного и постоянного тока.

f) Система охлаждения должна поддерживать температуру вентиля в установленных пределах.

g) Переключение между резервными компонентами не должно влиять на нормальную работу передачи.

h) Основные рабочие параметры систем переменного и постоянного тока должны находиться в расчетных пределах, включая мощность, напряжение и ток на стороне постоянного тока, а также реактивную мощность и напряжение для каждой системы на стороне переменного тока.

6.1.3 Последовательность действий защит, блокировок и отключений

6.1.3.1 Общие положения

В зависимости от типа аварий выполнение последовательностей действий защит, блокировок и отключений может привести к различным комбинациям следующих действий:

a) *быстрое изменение угла включения инвертора* (нарушения коммутации);

b) переход к резервной системе управления (если применимо),

c) *перевод выпрямителя и (или) инвертора в режим максимальных углов управления;*

d) блокировка вентилей преобразователя (с отпиранием или без отпирания шунтирующей пары);

e) размыкание выключателя переменного тока (трансформаторов преобразователя и, возможно, фильтров переменного тока);

f) изоляция полюсов из-за размыкания переключателей постоянного тока;

g) блокировка удаленной подстанции;

h) срабатывание защит, например, вследствие сброса нагрузки.

6.1.3.2 Цель испытаний

Ниже перечислены цели испытаний:

a) проверка корректности и селективности выполнения блокировки или защитного отключения при устранении короткого замыкания или неисправности оборудования;

b) проверка надлежащей координации защитных действий в сети постоянного тока с работой автоматического выключателя переменного тока и других средств защиты;

c) проверка, что управляющие действия приводят к восстановлению передачи электроэнергии в системе *в соответствии с техническими требованиями.*

6.1.3.3 *Основные* условия испытаний

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) В ходе заводских испытаний должна быть продемонстрирована координация работы между системами защиты и системами управления.

b) В процессе испытаний подсистем и преобразовательных подстанций необходимо проверить системы защиты переменного и постоянного тока.

c) Все системы управления и защиты должны быть введены в действие, в том числе и *дублирующие* системы.

d) Все системы мониторинга и аварийной сигнализации должны быть введены в действие.

e) Проводящий испытания персонал должен хорошо понимать назначение каждой функции защиты и знать, какие защитные действия следует ожидать.

f) Телекоммуникационная система должна быть введена в действие.

g) Примыкающие системы переменного тока должны быть способны передать и принять заданную мощность, сохраняя при этом устойчивость.

h) Все испытания оборудования переменного и постоянного тока под напряжением должны быть завершены.

6.1.3.4 Порядок испытаний

Необходимо выполнить моделирование отказов для проверки надлежащего выполнения последовательностей действий защит, блокировок и отключений.

Необходимо выполнить моделирование отключений при малой мощности во всех применимых конфигурациях системы постоянного тока и при включенной и выключенной телекоммуникационной системе.

При моделировании отказов проводящий испытания персонал должен проверить следующие условия:

- правильность срабатывания выключателей;
- подачу соответствующих аварийных сигналов;
- последовательность сигналов регистратора событий;
- безопасное отключение каждой преобразовательной подстанции (если необходимо).

При моделировании отказов регистрируют следующие сигналы:

a) напряжения и токи в каждой фазе на стороне переменного тока;

b) постоянное напряжение на обоих полюсах;

c) величины переменного тока в вентильных обмотках каждой фазы;

d) величины постоянного тока каждого полюса и в нейтралях полюсов;

e) величины переменного тока в блоках фильтров;

f) сигналы последовательности событий;

g) сигналы защиты;

h) заданные и измеренные углы включения и погасания;

i) *уставка* выпрямленного тока.

6.1.3.5 Критерии приемлемости результатов испытаний

Критерии приемлемости результатов испытаний приведены ниже.

a) Соответствующие последовательности действий защит, блокировок и отключений при каждом моделируемом отказе должны работать, как предусмотрено / рассчитано.

b) *Защиты оборудования при коротком замыкании должны обеспечивать селективность.*

c) Должны выдаваться корректные аварийные сигналы, а регистраторы *аварийных событий* должны подтверждать правильность выполнения последовательностей действий.

d) Безопасное *отключение* полюса и (или) преобразователя должно быть выполнено при включенной и отключенной системе телекоммуникации.

e) Процессы в системе ПТВН и примыкающих системах переменного тока должны *соответствовать заданным требованиям и характеристикам.*

6.1.4 Постепенное изменение мощности и тока

6.1.4.1 Общие положения

По результатам испытаний должно быть установлено, что мощность системы ПТВН может быть плавно повышена от малой мощности до приблизительно 0,3 от номинальной мощности и затем снова снижена путем изменения уставок в режимах регулирования мощности и *выпрямленного* тока. Испытание проводят при включенной системе телекоммуникации. Тем не менее при необходимости также должна быть проверена возможность плавного изменения мощности при отключенной системе телекоммуникации.

6.1.4.2 Цель испытаний

Ниже перечислены цели испытаний.

a) Проверка возможности плавного изменения мощности с различной скоростью для каждого полюса и для биполя (если применимо).

b) Проверка возможности осуществления операций в заданной последовательности при включенной и отключенной системе телекоммуникации.

c) Проверка возможности беспрепятственного перехода между режимами управления мощностью и током.

6.1.4.3 *Основные* условия испытаний

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) Система ПТВН должна находиться под напряжением и работать при минимальном номинальном токе.

b) Должны быть проверены последовательности действий защит, блокировок и отключений.

c) Примыкающие системы переменного тока должны быть способны передать или принять мощность, сохраняя при этом устойчивость.

6.1.4.4 Порядок испытаний

Испытания при плавном изменении мощности проводят в режиме работы с возвратом тока через обратный провод или через землю для каждого полюса и затем, если применимо, в биполярном режиме.

По возможности испытание при плавном изменении мощности также проводят при отключенной системе телекоммуникации в соответствии со следующими указаниями.

a) Устанавливается голосовая связь между операторами на преобразовательных подстанциях; преобразователи на подстанциях *отпираются*; ток в системе ПТВН *поддерживается на минимальном допустимом уровне*.

b) После кратковременной выдержки на минимальном допустимом уровне следует плавно увеличить ток до следующего выбранного уровня и снова достичь установившегося состояния. Данную процедуру повторяют до достижения током значения 0,3 от номинального.

c) В ходе испытаний контролируют систему охлаждения вентиля и все токовые цепи, особенно оборудование, расположенное *в вентильном зале*, преобразовательные трансформаторы, сглаживающие реакторы и проходные изоляторы.

d) Следует уменьшить ток до минимально *допустимого уровня* и восстановить работу телекоммуникационной системы.

e) Повторить описанные выше испытания в автоматическом режиме и режиме совместного управления.

f) Перейти в режим регулирования мощности и повторить испытания.

6.1.4.5 Критерии приемлемости результатов испытаний

Критерии приемлемости результатов испытаний приведены ниже.

a) Ток и мощность в системе ПТВН должны плавно изменяться во всех применимых конфигурациях системы постоянного тока.

b) Во всех случаях ток и напряжение переменного и постоянного тока должны быть стабильными и находиться в заданных пределах. Система регулирования угла включения и переключатель отпаек трансформатора должны работать корректно, значения углов включения и отпаек трансформатора должны находиться в заданных пределах.

c) Температура оборудования на стороне переменного и постоянного тока и в *вентильном зале* должна находиться в установленных пределах.

d) Система охлаждения вентилей должна поддерживать температуру вентилей в установленных пределах.

e) Переключение между режимами управления током и мощностью и наоборот должно происходить беспрепятственно.

f) В соответствующих случаях следует убедиться в том, что система управления правильно координирует работу оборудования, выдающего или потребляющего реактивную мощность, для поддержания напряжения переменного тока и перетоков реактивной мощности в заданных пределах.

6.1.5 Испытания переключателя отпаек трансформатора

6.1.5.1 Общие положения

Испытания служат для проверки способности переключателя отпаек преобразовательного трансформатора переключаться вверх и вниз в ручном и автоматическом режимах управления.

6.1.5.2 Цель испытаний

Ниже перечислены цели испытаний.

a) Проверка возможности переключения *отпаек* преобразовательного трансформатора вверх и вниз в ручном и автоматическом режимах управления.

b) Проверка возможности синхронного переключения ступеней преобразовательного трансформатора, *состоящего из трех однофазных групп* (если применимо).

6.1.5.3 *Основные* условия испытаний

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) Система ПТВН должна находиться под напряжением и работать при минимальном номинальном токе.

b) Должны быть проверены последовательности срабатывания защит, блокировок и отключений.

c) Примыкающие системы переменного тока должны быть способны передать или принять мощность, сохраняя при этом устойчивость.

6.1.5.4 Порядок испытаний

Испытания на управление переключателем отпаек проводят в режиме работы с возвратом тока через обратный провод или через землю для каждого полюса.

a) Устанавливается голосовая связь между операторами на преобразовательных подстанциях; преобразователи на подстанциях *отпираются*; ток в системе ПТВН *поддерживается на минимально допустимом уровне*.

b) После кратковременной выдержки на минимально *допустимом* уровне следует плавно увеличить ток до следующего выбранного уровня и снова достичь установившегося состояния. Данную процедуру повторяют до достижения током значения 0,3 от номинального.

c) В ходе испытаний контролируют систему охлаждения вентиля и все токовые цепи, особенно оборудование, расположенное *в вентильном зале*, преобразовательные трансформаторы, сглаживающие реакторы и проходные изоляторы.

d) Следует уменьшить ток до минимально допустимого уровня.

e) Повторить описанные выше испытания в автоматическом режиме и режиме совместного управления.

f) Перейти в режим регулирования мощности и повторить испытание.

g) Выпрямленный ток и мощность в системе ПТВН должны плавно изменяться во всех применимых конфигурациях системы постоянного тока.

h) Во всех случаях ток и напряжение переменного и постоянного тока должны быть стабильными и находиться в заданных пределах. Система регулирования угла включения и переключатель отпаек трансформатора должны работать корректно, значения регулируемых величин должны находиться в заданных пределах.

i) Температура оборудования на стороне переменного и постоянного тока и в *вентильном зале* должна находиться в установленных пределах.

j) Система охлаждения вентилей должна поддерживать температуру вентилей в установленных пределах.

k) Переключение между режимами управления током и мощностью и наоборот должно происходить беспрепятственно.

6.1.5.5 Критерии приемлемости результатов испытаний

Переключатель *отпаек* должен работать в соответствии с предусмотренными/расчетными условиями.

6.2 Переход между режимами ручного управления

6.2.1 Общие положения

6.2.1.1 Общие характеристики

1) *Взаимосвязь испытаний*

Испытания перехода между режимами в режиме ручного управления должны проводиться в сочетании с прочими базовыми эксплуатационными испытаниями для различных конфигураций системы постоянного тока и режимов эксплуатации.

2) Состояние системы ПТВН

Ниже приведены возможные режимы эксплуатации системы ПТВН.

a) Нормальная эксплуатация, которая подразделяется на работу *с системой переменного тока и с изолированной сетью* (если применимо).

b) Эксплуатация в нештатном режиме, который может иметь место при возникновении единичной неисправности, однако при этом система ПТВН может продолжать работу, все ее основные параметры находятся в заданных пределах. Типичным примером этого является отказ телекоммуникационной системы.

c) Эксплуатация в аварийном режиме (этот режим имеет специальное определение для каждого проекта *передачи ПТВН или вставки постоянного тока*), который, как правило, не подлежит испытанию в реальной системе в период ввода в эксплуатацию. Тем не менее испытания такого режима должны быть *включены в программу заводских испытаний*.

3) *Пульты* управления

Управляющие действия оператора могут быть выполнены с различных *пультов* управления. Типичными видами *пультов* являются:

a) локальный *пульт* управления, который может использоваться, если команды управления подаются с локального *пульта* управления на любой преобразовательной подстанции;

b) дистанционный *пульт* управления, который может использоваться, если команды управления подаются с поста управления, находящегося на удалении от той или иной преобразовательной подстанции.

4) Режимы управления

Оператор может изменить режим функционирования системы посредством использования одного из двух различных методов управления.

a) Автоматическое управление

В автоматическом режиме управления оператор может инициировать изменение режима функционирования, изменение конфигурации или изменение порядка выбора уставки мощности (тока), после чего соответствующие устройства управления выполнят команду в правильном порядке. Правильность выполнения команд подтверждается посредством мониторинга.

b) Ручное управление

В ручном режиме управление преобразовательной подстанцией может производиться пошагово от одного операционного состояния к другому. В отличие от автоматического режима управления оператору может быть предложено выполнить дополнительные промежуточные действия и может быть предоставлена возможность изменения последовательности управляющих операций. Завершение любой управляющей последовательности подтверждается посредством мониторинга.

5) Уровни управления

Предусмотрено четыре иерархических уровня управления системой ПТВН.

a) Управление на уровне системы (возможно совместное управление)

На данном уровне управление всей системой ПТВН может осуществляться совместно с одного удаленного или локального *пульта* управления оператора, что обуславливает необходимость применения телекоммуникационной системы на этом уровне.

b) Управление на уровне биполя (возможно совместное или раздельное управление)

На данном уровне управление биполем ПТВН осуществляется совместно, и мощность распределяется между двумя полюсами. Если телекоммуникационная система не задействована, то мощностью можно управлять с любой подстанции. Управление подстанциями может осуществляться совместно с одного *пульта* управления, если задействована телекоммуникационная система.

c) Управление на уровне полюса (возможно совместное или раздельное управление)

На данном уровне возможно раздельное управление каждым полюсом, если телекоммуникационная система не работает. Полюса обеих подстанций могут управляться совместно с одного *пульта* управления, если задействована телекоммуникационная система.

d) Уровень управления преобразователем

На уровне управления преобразователем возможно раздельное управление каждым преобразователем.

6.2.1.2 Общие *основные* условия

Перед тем как приступить к базовым эксплуатационным испытаниям, необходимо завершить следующие испытания и действия:

a) должны быть завершены заводские испытания;

b) должны быть завершены испытания преобразователей на каждой подстанции;

c) в соответствующих случаях необходимо завершить испытания методом взаимной нагрузки или испытания при коротком замыкании, если применимо;

d) должны быть завершены испытания при разомкнутой линии передачи ПТВН;

e) заземляющие электроды и линии заземляющих электродов должны быть проверены и допущены к эксплуатации;

f) телекоммуникационная и телефонная системы должны быть готовы к использованию;

g) должны быть введены в действие общие процедуры проведения испытаний, правила техники безопасности, правила диспетчерской координации и распределения ответственности при проведении испытаний;

h) должны быть проверены и введены в действие системы пожаротушения и пожарной сигнализации;

i) должны быть проверены и введены в действие все системы управления, защиты, измерения и регистрации событий и неисправностей.

6.2.1.3 Общее применение

Испытания передачи мощности в режиме ручного управления предназначены для проверки надлежащей координации базовых функций управления и защиты системы ПТВН и согласованной работы систем управления преобразовательными подстанциями при различных уровнях передаваемой мощности. Испытания проводят для различных конфигураций систем переменного и постоянного тока и для применимых состояний отказа.

Программа испытаний должна быть разработана таким образом, чтобы все режимы, уровни и местоположения устройств управления прошли проверку без излишнего дублирования испытаний.

6.2.2 Смена местоположения поста управления

6.2.2.1 Общие положения

Управление в нормальном режиме эксплуатации системы постоянного тока может производиться из удаленных или локальных *пунктов* управления подстанции. При этом возможно переключение между этими *пунктами* управления, что следует подтвердить посредством испытаний. Кроме того, оборудование управления оснащается функцией резервного управления на случай, если неисправность пульта управления оператора приведет к потере управления системой передачи электроэнергии ПТВН. Эту функцию необходимо проверить в ходе испытаний.

Функцию передачи управления между преобразовательными подстанциями следует проверять при *малом* уровне мощности, а затем при высоком уровне мощности, если применимо. Эти испытания необходимо выполнять одновременно с другими испытаниями.

Функцию управления с удаленного *пункта* управления следует испытывать после завершения всех испытаний функций управления преобразовательной подстанцией.

6.2.2.2 Цель испытаний

Ниже перечислены цели испытаний:

a) проверка функции управления на различных пунктах управления;

b) проверка работы функции передачи управления между *пунктами*.

6.2.2.3 *Основные* условия испытаний

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) Испытание передачи управления между различными *пунктами* управления должно быть выполнено *до начала испытаний на объекте*.

b) Должны быть завершены испытания *в режиме малой мощности*.

c) Телекоммуникационная система должна быть введена в действие.

6.2.2.4 Порядок испытаний

Процедура испытаний приведена ниже.

a) Передача управления между различными *пунктами управления* на преобразовательных подстанциях и проверка функционирования системы управления. Данные испытания должны проводиться при *малом* уровне мощности и могут совмещаться с другими испытаниями.

b) Передача функций управления *локальному* управляющему оборудованию и проверка функционирования.

c) Передача функций управления удаленному *пункту* управления и проверка функционирования.

6.2.2.5 Критерии приемлемости результатов испытаний

Критерии приемлемости результатов испытаний приведены ниже.

a) Передача управления между *пунктами управления* должна осуществляться корректно.

b) Функции управления на различных *пунктах управления* должны выполняться надлежащим образом.

c) Передача управления не должна нарушать работу системы постоянного тока и примыкающей сети постоянного тока.

6.2.3 Передача функций управления

6.2.3.1 Общие положения

Различные режимы управления мощностью постоянного тока, в том числе режим управления током полюса, мощностью полюса и мощностью биполя, выбирают в зависимости от различных условий работы оборудования при передаче электроэнергии ПТВН. Кроме того, испытания позволяют выявить, как неисправности системы межподстанционной телекоммуникационной связи влияют на переход между режимами управления мощностью постоянного тока.

Испытания при переходе между режимами управления мощностью постоянного тока, в том числе между режимами управления током полюса, мощностью полюса и мощностью биполя, необходимо проводить при малом уровне мощности, после чего следует выполнить проверку еще раз при *номинальной* мощности, если применимо.

6.2.3.2 Цель испытаний

Проверка функционирования и эксплуатационных характеристик режимов управления мощностью постоянного тока, в том числе режимов управления током полюса, мощностью полюса и мощностью биполя.

6.2.3.3 *Основные* условия испытаний

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) Испытания при переходе между режимами управления мощностью должны быть проведены *до начала испытаний на объекте*.

b) Должны быть завершены испытания *в режиме малой мощности*.

c) Телекоммуникационная система должна быть введена в действие.

6.2.3.4 Порядок испытаний

Процедура испытаний приведена ниже.

a) При условии, что система передачи электроэнергии ПТВН не осуществляется, а межподстанционная телекоммуникационная система работает, оператор последовательно производит переход из режима управления током полюса в режим управления мощностью полюса, затем в режим управления мощностью биполя и обратно, используя для этого возможности *пункта* управления главной подстанции.

b) Повторить приведенные в перечислении a) испытания при отключенной межподстанционной телекоммуникационной системе отдельно для каждой подстанции.

c) Начать передачу электроэнергии ПТВН при минимально допустимом токе, после чего повторить испытания по перечислениям a) и b).

d) Снова повторить испытания по перечислениям a) и b), на этот раз при *номинальном* уровне мощности, если применимо.

6.2.3.5 Критерии приемлемости результатов испытаний

Критерии приемлемости результатов испытаний приведены ниже.

a) Переход между различными режимами управления мощностью должен осуществляться корректно.

b) Работа в различных режимах управления мощностью должна осуществляться надлежащим образом.

c) Переход между различными режимами управления мощностью не должен нарушать работу системы постоянного тока и примыкающей сети переменного тока.

6.2.4 Переход между режимами управления реактивной мощностью

6.2.4.1 Общие положения

Существует два режима управления реактивной мощностью.

a) Режим регулирования напряжения переменного тока

В режиме регулирования напряжения переменного тока напряжение на шине переменного тока преобразователя поддерживается в заданных пределах путем коммутации элементов компенсации реактивной мощности.

b) Режим регулирования реактивной мощности

В режиме регулирования реактивной мощности перетоки реактивной мощности между преобразовательной подстанцией и системой переменного тока остаются в заданных пределах за счет коммутации элементов компенсации реактивной мощности.

Испытания перехода между режимами управления реактивной мощностью должны начинаться при низком уровне передаваемой мощности и затем проводиться при различных уровнях передаваемой мощности, а также независимо на каждой подстанции. *Кроме того, в ходе испытаний не должно быть ограничений, обусловленных превышением допустимого напряжения при минимальной мощности передачи, и необходимости включения хотя бы одного фильтра.*

6.2.4.2 Цель испытаний

Проверка функционирования режимов управления реактивной мощностью и корректности перехода между ними. Испытание повторяют при более высоких уровнях передаваемой мощности, а также проводят в режиме регулирования мощности и в режиме регулирования тока.

6.2.4.3 *Основные* условия испытаний

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) Испытания перехода между режимами управления реактивной мощностью должны быть выполнены предварительно в ходе заводских испытаний.

b) Должны быть завершены испытания *в режиме малой мощности*.

c) Настройки и параметры режима управления реактивной мощностью должны быть проверены в ходе заводских испытаний.

d) Должны быть завершены испытания по передаче управления между пунктами управления.

e) Должны быть завершены испытания по переходу между режимами управления током полюса, мощностью полюса и мощностью биполя.

f) Телекоммуникационная система должна быть введена в действие.

6.2.4.4 Порядок испытаний

Процедура испытаний приведена ниже.

a) Установить ручной режим регулирования реактивной мощности и режим регулирования активной мощности.

b) Начать передачу электроэнергии ПТВН при малой мощности.

c) Задать уставку реактивной мощности, учитывая требуемый переток реактивной мощности между преобразователем и сетью переменного тока.

d) Плавно увеличивать передаваемую мощность, следя за переключением элементов компенсации реактивной мощности по мере увеличения мощности; затем плавно уменьшать передаваемую мощность, также следя за переключением элементов компенсации реактивной мощности по мере уменьшения мощности.

e) Изменить *уставку* реактивной мощности в режиме регулирования перетока реактивной мощности и проследить за переключением элементов компенсации реактивной мощности по мере увеличения мощности, а затем по мере уменьшения мощности.

f) Задать *уставку* регулятора напряжения на шинах переменного тока и перейти в режим регулирования напряжения переменного тока.

g) Изменить уставку напряжения на шинах переменного тока и проследить за переключением элементов компенсации реактивной мощности в соответствии с измененной настройкой.

h) Перейти в ручной режим регулирования реактивной мощности и проверить работу элементов компенсации реактивной мощности посредством ручной коммутации.

i) Повторить испытания при более высоком уровне передаваемой мощности.

g) Повторить испытания в режиме регулирования тока.

6.2.4.5 Критерии приемлемости результатов испытаний

Критерии приемлемости результатов испытаний приведены ниже:

a) переход между режимами управления реактивной мощностью должен осуществляться корректно;

b) работа в различных режимах управления реактивной мощностью должна осуществляться надлежащим образом;

c) переход между режимами управления реактивной мощностью не должен нарушать работу системы постоянного тока и примыкающей сети переменного тока.

6.2.5 Переход от номинального напряжения к пониженному напряжению

6.2.5.1 Общие положения

Вследствие плохих погодных условий или в случае чрезмерных загрязнений может потребоваться выполнить ручное или автоматическое уменьшение напряжения постоянного тока для снижения нагрузки на кабели/линии или для снижения вероятности пробоев на воздушных линиях электропередачи постоянного тока.

6.2.5.2 Цель испытаний

Проверка функционирования режимов номинального и пониженного напряжения и перехода между ними. Работу при пониженном напряжении тестируют во всех конфигурациях систем переменного и постоянного тока.

6.2.5.3 *Основные* условия испытаний

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) Работа в режиме пониженного напряжения должна быть протестирована в ходе заводских испытаний.

b) Должны быть завершены испытания *в режиме малой мощности*.

c) Телекоммуникационная система должна быть введена в действие.

6.2.5.4 Порядок испытаний

Процедура испытаний приведена ниже.

a) Начать передачу мощности ПТВН при минимальном токе с номинальным напряжением.

b) Перейти в режим пониженного напряжения и поддерживать работу в установившемся режиме в течение 1 ч.

c) Перейти обратно к работе при номинальном напряжении.

d) Выполнить переход к работе при пониженном напряжении в ручном и автоматическом режимах (например, после коротких замыканий в линии постоянного тока).

e) Повторить испытания при высоком значении тока.

f) Повторить испытания в режиме управления мощностью.

6.2.5.5 Критерии приемлемости результатов испытаний

Критерии приемлемости результатов испытаний приведены ниже.

a) Работа при пониженном напряжении должна быть устойчивой.

b) Переход к пониженному напряжению и обратно должен осуществляться правильно и без затруднений.

c) Переход к пониженному напряжению и обратно не должен нарушать работу примыкающей сети переменного тока.

d) Система управления должна работать надлежащим образом при всех значениях тока.

e) Производительность системы охлаждения вентиля должна быть достаточной для поддержания температуры оборудования в допустимых пределах при всех уровнях тока.

6.2.6 Автоматическое управление мощностью постоянного тока

6.2.6.1 Общие положения

Управление передаваемой мощностью осуществляют в соответствии с планом поставки мощности на определенный период (день, неделя или месяц). В режиме автоматического управления мощностью постоянного тока осуществляют изменение и контроль мощности постоянного тока в соответствии с предварительно заданным графиком передачи мощности.

Необходимо выполнить проверку функционирования системы автоматического управления мощностью постоянного тока полюса в режиме управления мощностью биполя и при различных конфигурациях систем переменного и постоянного тока.

6.2.6.2 Цель испытаний

Проверка функционирования и эксплуатационных характеристик системы автоматического управления мощностью постоянного тока.

6.2.6.3 *Основные* условия испытаний

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) Испытание функции автоматического управления мощностью должно быть выполнено до начала испытаний на объекте.

b) Должны быть завершены испытания *в режиме малой мощности*.

c) Должны быть завершены испытания перехода между режимами управления током полюса, мощностью полюса и мощностью биполя.

d) Телекоммуникационная система должна быть введена в действие.

6.2.6.4 Порядок испытаний

Процедура испытаний приведена ниже.

a) Перевести оба полюса в режим управления мощностью биполя и в режим ручного управления мощностью.

b) Начать передачу электроэнергии ПТВН при малой мощности.

c) Включить функцию автоматического управления мощностью постоянного тока и наблюдать за процессом передачи электроэнергии постоянного тока по предварительно заданному графику (не менее трех точек изменения).

d) Повторить испытания для случая, когда один из полюсов находится в режиме управления мощностью биполя, а второй — в режиме управления мощностью.

e) Повторить испытания в других конфигурациях переменного и постоянного тока.

6.2.6.5 Критерии приемлемости результатов испытаний

Критерии приемлемости результатов испытаний приведены ниже.

a) Переход между автоматическим и ручным режимами управления мощностью постоянного тока следует осуществлять корректно.

b) Мощность постоянного тока необходимо изменять согласно предварительно заданному графику, работу следует выполнять в устойчивом режиме.

6.3 Изменение конфигурации постоянного тока

6.3.1 Общие положения

6.3.1.1 Общие характеристики

Большинство схем передачи электроэнергии на большое расстояние рассчитано на работу в различных конфигурациях постоянного тока, включая, например, возврат тока через землю для монополярной системы, возврат тока через обратный провод для монополярной системы, биполярную нормальную конфигурацию и включение полюсов на параллельную работу. В каждой из этих конфигураций может использоваться один или несколько фильтров постоянного тока.

В случае применения последовательно соединенных преобразовательных устройств в полюсе необходимо продемонстрировать переключения этих преобразовательных устройств. Следует проверить изменение полярности системы ПТВН, если применимо. Операции с участием обоих преобразовательных подстанций необходимо выполнять с включенной или отключенной телекоммуникационной системой.

Для вставок постоянного тока не требуется изменение конфигурации схемы постоянного тока.

Цели испытаний, *основные* условия и порядок испытаний аналогичны тем, которые указаны в 6.3.1—6.3.3.

Сведения о функциях переключателей приведены в стандарте *ГОСТ Р 59027*.

6.3.1.2 Цель испытаний

Проверка согласованности переключений на преобразовательных подстанциях для изменения конфигурации схемы со стороны постоянного тока и исключение возможности коммутации в условиях, при которых могут возникнуть значительные перенапряжения на оборудовании постоянного тока.

6.3.1.3 *Основные* условия испытаний

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) Должна быть проведена проверка всех последовательностей всех переключений на обесточенной системе.

b) Все испытания оборудования переменного и постоянного тока с апробированием напряжением должны быть завершены.

c) Должны быть завершены испытания *в режиме малой мощности*.

6.3.1.4 Порядок испытаний

Процедура испытаний приведена ниже.

a) В ходе всех испытаний следует осуществлять регистрацию переменного и постоянного тока и напряжений. Следует организовать наблюдение за установленным снаружи оборудованием для выявления посторонних шумов и дуговых разрядов.

b) Следует проверить надлежащую синхронизацию по времени различных переключений оборудования. Все переключения оборудования необходимо выполнять поочередно, а также в автоматическом режиме, если применимо. При участии обеих преобразовательных подстанций следует обеспечить работу телекоммуникационной системы.

c) При необходимости дополнительные испытания могут быть выполнены при мощности ниже номинальной и при малой мощности.

6.3.1.5 Критерии приемлемости результатов испытаний

Критерии приемлемости результатов испытаний приведены ниже.

a) Передача электроэнергии ПТВН не должна надолго прерываться при изменении конфигурации системы постоянного тока.

b) Величины тока и напряжения должны совпадать с результатами моделирования соответствующих испытаний и соответствовать техническим требованиям.

6.3.2 Испытания в режиме работы с возвратом тока через обратный провод в монополярной схеме

6.3.2.1 Возможные конфигурации системы постоянного тока

Из данной схемы передачи можно произвести необходимые переключения для перехода к следующим схемам:

a) монополярная схема с возвратом тока через землю;

b) биполярная схема;

c) параллельное подключение и отключение другого полюса.

6.3.2.2 Порядок перехода между схемами

Переход к монополярной схеме с возвратом тока через землю

Процедура перехода приведена ниже.

a) Перейти в режим работы при номинальной мощности.

b) Замкнуть аппарат для переключения на возврат тока через обратный провод (ВОП) (MRTB).

c) Разомкнуть аппарат для переключения на возврат тока через землю (ВЗ) (ERTB).

Переход к биполярной схеме

Процедура перехода приведена ниже.

a) Перейти в режим работы при номинальной мощности.

b) Замкнуть аппарат ВОП (MRTB).

c) Разомкнуть аппарат ВЗ (ERTB).

d) Проверить баланс тока в обоих полюсах.

Подключение и отключение параллельного полюса

Процедура перехода приведена ниже.

a) Обеспечить работу одного полюса при номинальной мощности.

b) Замкнуть разъединитель параллельного подключения неработающего полюса.

c) *Отпереть* неработающий полюс.

d) Проверить баланс тока в обоих полюсах.

6.3.3 Испытания в режиме работы с возвратом тока через землю в монополярной схеме

6.3.3.1 Возможные конфигурации системы постоянного тока

Работа в режиме возврата тока через землю в монополярной схеме не рекомендуется в течение длительного времени для некоторых объектов. Из данной схемы передачи можно произвести необходимые переключения для перехода к следующим схемам:

a) монополярная схема с возвратом тока через обратный провод;

b) биполярная схема.

6.3.3.2 Порядок перехода между схемами

Переход к монополярной схеме с возвратом тока через обратный провод

Процедура перехода приведена ниже.

a) Перейти в режим номинальной мощности.

b) Замкнуть аппарат ВЗ (ERTB).

c) Разомкнуть аппарат ВОП (MRTB).

Переход к биполярной схеме

a) Перейти в режим номинальной мощности.

b) Замкнуть разъединитель полюса линии неработающего полюса.

c) *Отпереть* неработающий полюс.

d) Проверить баланс тока в обоих полюсах.

6.3.4 Испытания переключений из биполярной схемы

6.3.4.1 Возможные конфигурации системы постоянного тока

Из данной схемы передачи можно произвести необходимые переключения для перехода к следующим схемам:

a) монополярная схема с возвратом тока через землю;

b) монополярная схема с возвратом тока через обратный провод.

6.3.4.2 Порядок перехода между схемами

Переход к монополярной схеме с возвратом тока через землю

Процедура перехода приведена ниже.

a) Обеспечить работу при максимальной предусмотренной мощности для монополярной системы.

b) Уменьшить силу тока в одном полюсе до минимума, поддерживая мощность в биполярной системе неизменной.

c) Заблокировать полюс, работающий при малой мощности.

d) Разомкнуть линейный разъединитель заблокированного полюса.

Переход к монополярной схеме с возвратом тока через обратный провод

Процедура перехода приведена ниже.

a) Перейти в режим максимальной мощности.

b) Уменьшить ток в одном полюсе до минимума, поддерживая мощность биполя неизменной.

c) Заблокировать полюс, работающий с малой мощностью.

d) Разомкнуть линейный разъединитель заблокированного полюса.

e) Замкнуть аппарат ВЗ (ERTB).

f) Разомкнуть аппарат ВОП (MRTB).

6.4 Коммутация оборудования *подстанции*

6.4.1 Общие положения

6.4.1.1 Общие характеристики

Испытания коммутаций оборудования *подстанции* выполняют для проверки переходных характеристик систем переменного тока и ПТВН во время и после коммутации. Правильность функционирования оборудования постоянного тока подтверждается предыдущими испытаниями, в том числе испытаниями преобразовательных подстанций и базовыми эксплуатационными.

При проведении испытаний коммутации основного оборудования могут быть выполнены испытания для проверки надлежащего взаимодействия и координации между испытываемой системой ПТВН и прочим подключенным оборудованием, в том числе статическими компенсаторами реактивной мощности, другими системами ПТВН и т. д.

6.4.1.2 Общие *основные* условия

a) Завершены заводские испытания, включая моделирование систем переменного и постоянного тока.

b) Завершены испытания обеих преобразовательных подстанций, включая испытания преобразовательных устройств.

c) Завершены базовые эксплуатационные испытания для проверки надлежащей координации базовых функций управления и защиты системы ПТВН и согласованной работы систем управления преобразовательными подстанциями при различных уровнях передаваемой мощности.

d) Завершены испытания при работе в установившемся режиме, включая проверку эксплуатационных характеристик в установившемся режиме и влияние помех.

e) Должны быть разработаны подробные *методики и программы испытаний*. Так как при проведении испытаний возможно возникновение возмущений в примыкающих системах переменного тока, необходимо провести их согласование с операторами соответствующих систем.

f) Параметры примыкающих систем переменного тока должны находиться в заданных пределах, системы должны быть способны передать и принять активную и реактивную мощность в объеме, необходимом для проведения данного испытания. К числу существенных параметров системы переменного тока относятся величина напряжения и частота, мощность короткого замыкания. Также необходимо учитывать конфигурацию системы переменного тока.

6.4.1.3 Общее назначение

Данные испытания предназначены для проверки коммутации оборудования подстанции на стороне переменного тока и фильтров постоянного тока.

6.4.2 Коммутация преобразовательного трансформатора

6.4.2.1 Общие положения

Коммутация преобразовательного трансформатора одного полюса может привести к возникновению возмущений в системе переменного тока. Такие возмущения возникают вследствие бросков пускового тока, насыщения компонентов оборудования, а также появления резонанса.

6.4.2.2 Цель испытаний

Ниже перечислены цели испытаний.

a) Показать, что коммутация не создает каких-либо отрицательных воздействий на работу системы постоянного тока.

b) Показать, что искажения напряжения в системе переменного тока находятся в допустимых пределах.

c) Проверка надлежащего восстановления после нарушения коммутаций *вентилей, если применимо*.

d) Подтверждение, что система управления ПТВН сохраняет устойчивость в данном переходном процессе.

e) Проверка эксплуатационных характеристик системы управления ПТВН в тех случаях, когда эта система используется для демпфирования возмущений.

6.4.2.3 *Основные* условия испытаний

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) Все испытания характеристик системы управления завершены.

b) Система защиты от нарушения коммутаций должна быть введена в действие.

c) Все оборудование переменного и постоянного тока испытываемого полюса должно быть готово к использованию.

6.4.2.4 Порядок испытаний

Программа испытаний должна соответствовать конфигурации системы ПТВН, например:

- биполярная или монополярная система;
- подключенные последовательно преобразовательные устройства или одно преобразовательное устройство на полюс;
- вставка постоянного тока.

Если система постоянного тока биполярная и при этом каждый полюс содержит только одну двенадцатифазную вентильную группу (это может быть как вставка, так и передача постоянного тока),

то испытания проводят посредством включения и отключения преобразовательного трансформатора одного полюса, в то время как второй полюс должен оставаться в работе. Это означает, что испытания могут проводиться только в монополярной конфигурации, за исключением ситуаций, когда на самой преобразовательной подстанции или в близи нее есть трансформаторы с сопоставимыми номинальными характеристиками, которые могут коммутироваться в определенные промежутки времени.

Если система постоянного тока биполярная и каждый полюс содержит более чем одну двенадцатифазную вентильную группу, то испытания необходимо выполнять посредством включения и отключения одного преобразовательного трансформатора при работе системы в биполярном режиме, при условии, что проектные характеристики подстанции допускают использование неодинакового числа вентильных групп на полюс.

Данные испытания проводят на выпрямительной и инверторной подстанциях.

Контролируют следующие параметры:

a) постоянный ток;

b) напряжение постоянного тока;

c) мощность постоянного тока;

d) напряжение в системе переменного тока — три фазы;

e) токи в фильтрах переменного тока;

f) токи в первичных обмотках трансформаторов;

g) угол погасания.

6.4.2.5 Критерии приемлемости результатов испытаний

Критерии приемлемости результатов испытаний приведены ниже.

a) При проведении всех коммутационных испытаний система ПТВН должна возвращаться к устойчивой работе.

b) В ходе испытаний допускается нарушение коммутаций, однако все параметры системы должны находиться в допустимых пределах.

c) Допускается возникновение перенапряжений в системе переменного тока, однако такие перенапряжения должны находиться в допустимых пределах.

6.4.3 Коммутация фильтров переменного тока и устройств компенсации реактивной мощности

6.4.3.1 Общие положения

Коммутация устройств компенсации может привести к возникновению искажений в системе переменного тока вследствие бросков пускового тока, насыщения компонентов, а также появления резонанса.

6.4.3.2 Цель испытаний

Ниже перечислены цели испытаний.

a) Проверка, что коммутация не создает каких-либо отрицательных воздействий на работу системы постоянного тока.

b) Проверка, что искажения напряжения в системе переменного тока находятся в допустимых пределах.

c) Проверка надлежащего восстановления после отказов коммутации в соответствующих случаях.

d) Подтверждение, что система управления ПТВН сохраняет устойчивость в данном переходном процессе.

e) Проверка эксплуатационных характеристик системы управления ПТВН в тех случаях, когда эта система используется для демпфирования возмущений.

6.4.3.3 *Основные* условия испытаний

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) Все испытания системы управления завершены.

b) Система защиты от нарушения коммутации должна быть введена в действие.

c) Все оборудование переменного и постоянного тока испытываемого полюса должно быть готово к использованию.

6.4.3.4 Порядок испытаний

Коммутационные испытания необходимо выполнить для каждой батареи фильтров переменного тока, как правило, в монополярном режиме. В некоторых системах, где установлены резервные фильтры переменного тока, эти испытания могут быть выполнены в биполярном режиме.

Данные испытания проводят на выпрямительной и инверторной подстанциях.

Контролируют следующие параметры:

a) постоянный ток;

b) напряжение постоянного тока;

c) мощность постоянного тока;

d) напряжение в системе переменного тока — три фазы;

e) токи в фильтрах переменного тока;

f) токи в первичных обмотках трансформаторов;

g) угол погасания.

6.4.3.5 Критерии приемлемости результатов испытаний

Критерии приемлемости результатов испытаний приведены ниже.

a) При проведении всех коммутационных испытаний система ПТВН должна возвращаться к устойчивой работе.

b) В ходе испытаний допускается нарушение коммутации, однако все параметры системы должны находиться в допустимых пределах.

c) Допускается возникновение перенапряжений в системе переменного тока, однако такие перенапряжения должны находиться в допустимых пределах.

6.4.4 Коммутация фильтров постоянного тока (если применимо)

6.4.4.1 Общие положения

Один или несколько фильтров постоянного тока могут использоваться в различных конфигурациях передачи постоянного тока, включая, например, монополярную схему с возвратом тока через землю, монополярную схему с возвратом тока через обратный провод, биполярную нормальную конфигурацию и включение полюсов на параллельную работу.

6.4.4.2 Цель испытаний

Ниже перечислены цели испытаний.

a) Проверка коммутации фильтров постоянного тока.

b) Проверка эксплуатационных характеристик при коммутации фильтров постоянного тока.

6.4.4.3 *Основные* условия испытаний

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) Проверку очередности включения фильтров постоянного тока следует выполнять на обесточенной системе.

b) Все испытания оборудования переменного и постоянного тока с апробированием напряжением должны быть завершены.

c) Должны быть завершены базовые эксплуатационные испытания.

6.4.4.4 Порядок испытаний

a) В ходе всех испытаний следует осуществлять регистрацию переменного и постоянного тока и напряжений. Следует организовать наблюдение за установленным снаружи оборудованием для выявления посторонних шумов и дуговых разрядов.

b) Следует проверить надлежащую синхронизацию по времени различных переключений оборудования. Все переключения оборудования должны выполняться поочередно, а также в автоматическом режиме, если применимо.

c) Подключение и отключение фильтров постоянного тока (если разрешено) при возврате тока через обратный провод для монополярной системы выполняют следующим образом:

- регистрируют ток гармоник фильтра постоянного тока;
- при передаче номинальной мощности отключают один фильтр постоянного тока;
- снова подключают фильтр постоянного тока;
- процедуру повторяют со всеми фильтрами постоянного тока.

d) Подключение и отключение фильтров постоянного тока (если разрешено) для биполярной системы выполняют следующим образом:

- регистрируют ток гармоник фильтра постоянного тока по мере возможности;
- при передаче номинальной мощности отключают один фильтр постоянного тока;
- снова подключают фильтр постоянного тока;
- процедуру повторяют со всеми фильтрами постоянного тока.

6.4.4.5 Критерии приемлемости результатов испытаний

Критерии приемлемости результатов испытаний приведены ниже.

a) Передача электроэнергии ПТВН не должна надолго прерываться при коммутации фильтров постоянного тока.

b) Величины токов и напряжения должны совпадать с результатами моделирования соответствующих испытаний и соответствовать техническим требованиям.

c) Параметры остальных фильтров должны находиться в заданных пределах.

d) Не допускаются следы пригорания контактов разъединителей.

e) Все переходные процессы должны быть устойчивыми.

6.5 Испытание динамических рабочих характеристик

6.5.1 Общие положения

6.5.1.1 Общие характеристики

Системы управления передачами и вставками ПТВН содержат несколько контуров управления. Анализ динамических эксплуатационных характеристик системы управления подтверждается с помощью следующих испытаний:

a) отклик на ступенчатое возмущение;

b) переход между режимами управления;

c) нарушение коммутаций;

d) взаимодействие систем переменного тока/управление.

Принято, что проверку динамических характеристик выполняют при расчетах на подробных компьютерных моделях, а испытания на *объекте ПТВН* могут использоваться только для оценки результатов при определенном испытании. Необходимость выполнения такого испытания на *объекте ПТВН* определяется эксплуатирующей организацией.

6.5.1.2 Общие цели испытаний

Ниже перечислены цели испытаний.

a) Проверка реакции каждого контура управления на изменение величины *уставки*.

b) Проверка работы системы управления во время возмущений, вызывающих изменения фактических измеренных количественных параметров (постоянный ток, напряжение постоянного тока и т. д.) для соответствующего контура управления.

c) Подтверждение, что регуляторы не мешают друг другу и не вызывают возмущений при работе систем переменного тока и (или) постоянного тока.

d) Подтверждение устойчивости регуляторов при возмущениях в системе переменного тока.

6.5.1.3 Общие *основные* условия

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) Должны быть завершены заводские испытания системы управления.

b) Должны быть завершены испытания преобразовательного устройства.

c) Должны быть проверены последовательности операций пуска и отключения системы ПТВН.

d) Должны быть проверены последовательности действий защит, блокировок и отключений.

e) Телекоммуникационная система должна быть введена в действие.

f) Все оборудование системы постоянного тока, необходимое для передачи электроэнергии одним полюсом, должно быть готово к использованию.

g) Конфигурация системы переменного тока должна быть такой, чтобы значение эффективного отношения короткого замыкания было близко к минимальному расчетному значению.

6.5.1.4 Общий порядок испытаний

При проведении всех испытаний на оптимизацию и проверку эксплуатационных характеристик системы управления необходимо использовать однотипное оборудование для регистрации и мониторинга. Общие параметры мониторинга и регистрации приведены ниже. Результаты проверок эксплуатационных характеристик системы, которые были сделаны в ходе заводских испытаний, могут использоваться для сравнения с результатами при испытаниях на месте эксплуатации. При проведении испытаний необходимо использовать то же самое регистрирующее оборудование, сигналы мониторинга и формуляры испытаний, что и при заводских испытаниях.

В ходе испытаний контролируют следующие переменные параметры:

a) величину уставки по току (на входе регулятора тока);

b) фактический постоянный ток (регулятора тока);

c) выходной сигнал регулятора тока;

d) напряжение постоянного тока;

e) угол погасания регулятора угла погасания;

f) угол включения;

g) идентификатор активного регулятора;

h) напряжение на шине переменного тока (три фазы);

i) мощность постоянного тока;

j) *перевод выпрямителя и/или инвертора в режим максимальных углов управления;*

k) сигналы управления демпфированием колебаний параметров (если имеются).

6.5.2 Отклик при ступенчатом возмущении

6.5.2.1 Общие положения

Испытания проводят в зависимости от различных режимов управления системы ПТВН.

Существуют различные режимы эксплуатации каждой преобразовательной подстанции системы ПТВН. Наиболее распространенные режимы:

- управление для поддержания заданного значения тока;
- управление для поддержания постоянного минимального угла погасания;
- управление для поддержания постоянного напряжения постоянного тока;
- контроль отклонения величины постоянного тока от уставки;
- управление для поддержания заданной мощности.

Некоторые из этих режимов управления применимы только при работе в качестве выпрямителя или инвертора.

Учитывая большое число устройств управления в системе ПТВН, сложно спланировать только одно испытание для проверки всех возможных режимов управления. В настоящем пункте описаны испытания для наиболее распространенных контуров управления.

В случае работы выпрямителя в режиме управления для поддержания заданной величины тока и работы инвертора в режиме управления для поддержания постоянного минимального угла погасания необходимо оптимизировать работу следующих регуляторов:

a) регулятор тока выпрямителя;

b) регулятор угла погасания инвертора;

c) регулятор тока инвертора (поддержание допустимого запаса по току);

d) регулятор мощности;

e) регулятор уставки постоянного тока в зависимости от постоянного напряжения (УПТН).

Примечание — См. ДБ.2 (приложение ДБ).

6.5.2.2 Цель испытаний

Проверка переходных характеристик контуров системы регулирования.

6.5.2.3 *Основные* условия испытаний

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) Должны быть завершены заводские испытания системы управления.

b) Должны быть завершены испытания преобразовательного устройства.

c) Должны быть проверены последовательности операций при пуске и отключении передачи.

d) Должны быть проверены последовательности действий защит, блокировок и отключений.

e) Телекоммуникационная система должна быть введена в действие.

6.5.2.4 Порядок испытаний

1) Общая информация

Должны быть завершены испытания переходных характеристик при ступенчатом возмущении для всех регуляторов на всех уровнях управления (на уровнях преобразователя, подстанции и системы).

2) Регулятор тока выпрямителя

Допускается использовать несколько методов для проверки работы регулятора тока выпрямителя. Стандартным методом является ступенчатое изменение (см. описание к рисунку 6) *уставки* тока, которое проводят следующим образом.

a) Длительность приложенного ступенчатого возмущения T должна быть достаточной для того, чтобы система успела выйти на новый установившийся режим после изменения величины *уставки* тока.

b) Выбранный уровень величины *уставки* тока I_0 до момента ступенчатого изменения должен быть таким, чтобы во время ступенчатого изменения величина тока не достигала предельного значения.

c) *Изменение уставки по току ΔI выполняют программным или аппаратным способом в зависимости от реализации системы управления.*

d) В ходе испытаний регулятор тока на выпрямителе должен быть активен, а регулятор тока на инверторе должен быть заблокирован.

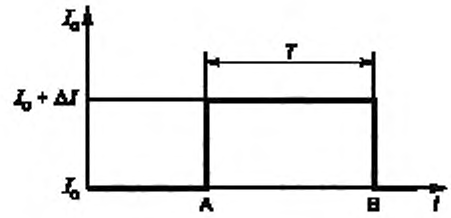


Рисунок 6 — Проверка реакции регулятора тока выпрямителя на входное ступенчатое воздействие

3) Регулятор угла погасания инвертора

Выпрямитель находится в своем базовом нормальном режиме управления (*режиме управления выпрямленным током*), а инвертор находится в режиме управления для поддержания постоянного минимального угла погасания.

Следует скачком изменить заданное значение угла погасания (см. рисунок 7) описанным ниже способом.

a) Первое ступенчатое возмущение A должно быть приложено только в направлении увеличения заданной величины угла погасания для исключения нарушения коммутации.

b) Выбранная величина угла погасания δ_o до момента ступенчатого возмущения должна быть такой, чтобы во время приложения ступенчатого воздействия к величине угла погасания $\Delta\delta$ никакие параметры режима не достигали предельных значений.

c) После оптимизации параметров регулятора следует приложить второе ступенчатое изменение B от $\delta_o + \Delta\delta$ обратно к δ_o.

d) Если регулятор имеет другие входы, которые оказывают влияние на угол погасания, испытание необходимо повторить, прикладывая возмущающее воздействие к этим входам. Например, если входной сигнал воздействует на увеличение угла погасания вследствие резкого увеличения выпрямленного тока или резкого уменьшения напряжения переменного тока, то эти функции также должны быть проверены с помощью ступенчатых возмущений.

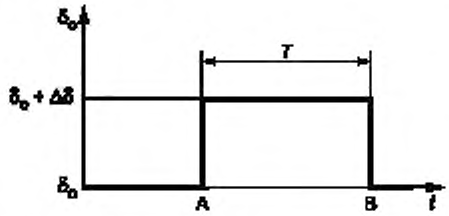


Рисунок 7 — Проверка реакции регулятора угла погасания инвертора на входное ступенчатое воздействие

4) Регулятор напряжения инвертора (если имеется)

Для проверки свойств этого регулятора инвертора выпрямитель должен находиться в своем базовом нормальном режиме управления *(режиме управления выпрямленным током)*, а инвертор должен находиться в режиме управления напряжением.

Следует скачком изменить заданное постоянное напряжение (см. рисунок 8) описанным ниже способом.

a) Первое ступенчатое возмущение A должно быть приложено только в направлении уменьшения заданной величины напряжения для исключения нарушения коммутации.

b) Выбранный уровень величины постоянного напряжения U_{do} до момента подачи ступенчатого возмущения должен быть таким, чтобы во время ступенчатого возмущения величина постоянного напряжения ΔU_d не достигала предельных значений.

c) После оптимизации параметров регулятора следует приложить второе ступенчатое возмущение B от $U_{do} + \Delta U_d$ обратно к U_{do}.

Если регулятор имеет другие входы, которые оказывают влияние на постоянное напряжение, испытание необходимо повторить, прикладывая возмущающее воздействие к этим входам.

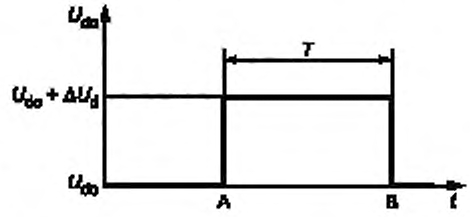


Рисунок 8 — Проверка реакции регулятора постоянного напряжения инвертора на входное ступенчатое воздействие

5) Регулятор тока инвертора (поддержание запаса по току)

Во время этих испытаний выпрямитель должен находиться в режиме поддержания постоянного угла включения α_{min}, а инвертор — в режиме поддержания постоянного тока. На вход регулятора тока инвертора подается ступенчатое изменение уставки тока (см. рисунок 9). Длительность шага T должна быть достаточной для выхода системы на новый установившийся режим после приложения возмущающего воздействия.

Выбранный уровень величины уставки тока I_0 до момента ступенчатого изменения должен быть таким, чтобы во время ступенчатого изменения величины уставки тока ΔI никакие параметры режима не достигали предельных значений.

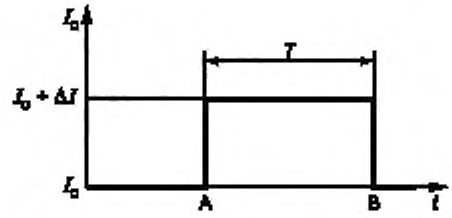


Рисунок 9 — Проверка реакции регулятора тока инвертора на входное ступенчатое воздействие

6.5.2.5 Регулятор мощности

Для настройки этого регулятора выполняют ступенчатое изменение величины мощности ΔP (см. рисунок 10) в соответствии с приведенным ниже описанием.

a) Длительность приложенного ступенчатого возмущения T должна быть достаточно большой для того, чтобы система успела выйти на новый установившийся режим после изменения величины уставки тока.

b) Выбранный уровень величины мощности P_0 до момента ступенчатого изменения должен быть таким, чтобы во время ступенчатого повышения величины мощности ΔP никакие параметры режима не достигали предельных значений.

c) Выбранная величина ступенчатого воздействия ΔP должна быть такой, чтобы изменение величины уставки тока превысило запас по току.

d) Возможно проведение дополнительных испытаний с меньшей величиной ΔP для проверки устойчивости и взаимодействия с другими контурами управления.

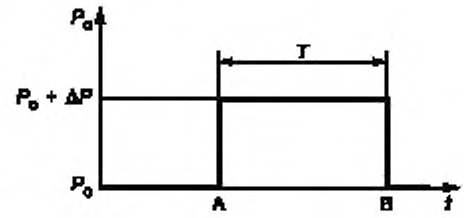


Рисунок 10 — Проверка реакции регулятора передаваемой мощности на входное ступенчатое воздействие

В программу испытаний систем ПТВН следует включить испытания автоматического регулирования перетока мощности (АРЧМ) по командам устройств АРЧМ, а также вследствие реализации управляющих воздействий от устройств противоаварийной автоматики (ПА), если предусмотрено подключение системы регулирования мощности системы ПТВН к АРЧМ и устройствам ПА.

Примечание — Дополнено с целью учета особенностей терминологии, нормативной документации и порядка проведения испытаний систем постоянного тока высокого напряжения, применяемых в Российской Федерации.

6.5.2.6 Критерии приемлемости результатов испытаний

Критерии приемлемости результатов испытаний приведены ниже.

a) Регуляторы обеспечивают устойчивые переходные процессы, качество которых удовлетворяет установленным требованиям.

b) Все характеристики переходных процессов должны соответствовать характеристикам, которые были получены в ходе заводских испытаний. В случае возникновения отклонений между результатами испытаний реальной системы постоянного тока и результатами заводских испытаний необходимо представить пояснения, почему возникли такие отклонения.

c) При проведении оптимизации регуляторов необходимо обеспечить, чтобы отклик системы постоянного тока на ступенчатое изменение характеризовался наименьшей величиной перерегулирования и наименьшим временем перехода в новое установившееся состояние.

d) Не допускается возникновение неустойчивого режима при проведении испытаний при ступенчатых возмущениях.

6.5.3 Переход между режимами управления

6.5.3.1 Общие положения

Переходы между базовыми режимами управления (см. 6.2) могут быть следующими:

a) от режима управления для поддержания заданной мощности к режиму управления для поддержания заданной величины тока и обратный переход;

b) от режима управления для поддержания постоянного угла погасания или режима управления для поддержания постоянного напряжения к режиму управления для поддержания заданной величины тока и обратный переход (для инвертора).

Если предусматриваются дополнительные режимы управления, то следует провести испытания перехода между режимами управления с учетом конкретных условий применения. Критерии приемлемости испытаний при этом должны быть подобны тем, которые описаны в этом разделе.

Как правило, управление системами ПТВН осуществляется в режиме управления для поддержания заданной мощности.

В определенных условиях необходимо осуществить переход из режима управления для поддержания заданной мощности к режиму управления для поддержания постоянной величины тока. На уровне управления полюсом используется типовая схема системы управления, в которой выпрямитель работает в режиме поддержания тока, а инвертор — в режиме поддержания постоянного угла погасания.

Как правило, инвертор оснащается регулятором тока. При возникновении определенных условий в системе переменного тока может потребоваться переход инвертора от режима управления для поддержания постоянного угла погасания к режиму управления током и обратный переход.

6.5.3.2 Цель испытаний

Проверка функционирования различных режимов управления и корректного перехода между ними.

6.5.3.3 *Основные* условия испытаний

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) Должны быть завершены заводские испытания системы управления.

b) Должны быть завершены испытания преобразовательного устройства.

c) Должны быть проверены последовательности операций пуска и отключения системы ПТВН.

d) Должны быть проверены последовательности действий защит, блокировок и отключений.

e) Телекоммуникационная система должна быть введена в действие.

f) Испытания при ступенчатых возмущениях системы регулирования должны быть завершены, все регуляторы настроены.

6.5.3.4 Порядок испытаний

В системах постоянного тока, где переход от режима управления для поддержания заданной мощности к режиму управления для поддержания заданного значения тока осуществляется вручную, применяется следующая процедура:

a) выполнить пуск системы постоянного тока в режиме управления для поддержания заданной мощности и вывести ее в установившийся режим;

b) установить значение уставки тока в соответствии с фактическим значением постоянного тока и перейти в режим управления для поддержания заданного значения тока. Изменение уставки тока можно выполнить вручную или автоматически.

В некоторых случаях, во время снижения напряжения в системе переменного тока для исключения неустойчивых процессов, возможна автоматическая активация перехода от режима управления для поддержания постоянной мощности к режиму управления для поддержания заданного значения тока. Проверка перехода между режимами управления выполняется путем моделирования процессов при сниженном напряжении переменного тока или во время аварий в системе переменного тока.

Переход от режима поддержания постоянного угла погасания к режиму поддержания заданного значения тока на инверторе может быть выполнен путем принудительного перехода инвертора в режим управления током при функционировании выпрямителя при минимальном угле управления. Испытания могут быть проведены с использованием переключателя отпаек трансформатора. Кроме того, это испытание выполняют в режиме поддержания заданного значения тока или в режиме поддержания постоянной мощности.

6.5.3.5 Критерии приемлемости результатов испытаний

Критерии приемлемости результатов испытаний приведены ниже.

a) Переход между режимами управления должен происходить плавно, без нарушения устойчивой работы во время и после перехода от режима управления для поддержания постоянной мощности к режиму управления для поддержания заданного значения тока.

b) Не допускаются ступенчатые изменения мощности во время перехода между режимами управления.

c) Переход от режима управления для поддержания постоянного угла погасания к режиму управления для поддержания заданного значения тока на инверторе должен быть устойчивым.

6.5.4 Нарушения коммутации

6.5.4.1 Общие положения

Нарушения коммутаций в системе постоянного тока могут быть вызваны следующими причинами:

a) возмущениями в системе переменного тока;

b) отклонениями в работе системы управления преобразователя.

Нарушения коммутаций бывают единичными, повторяющимися (происходят в течение нескольких последовательных периодов) или *длительными*. При проведении описанных в этой части испытаний необходимо выполнить моделирование нарушений коммутаций вследствие отклонений в работе преобразователя. В ходе опытной эксплуатации существует возможность проведения дальнейших испытаний при возмущениях в системе (в отличие от моделированных возмущений).

6.5.4.2 Цель испытаний

Ниже перечислены цели испытаний.

a) Проверка сохранения устойчивости системы управления во время и после нарушений коммутации и пропусков импульсов вентилей, восстановления в предписанный промежуток времени.

b) Если силовой контур системы постоянного тока имеет резонансную частоту, близкую к основной частоте, возможно возникновение колебаний на стороне постоянного тока вследствие нарушений коммутаций. В ходе испытаний необходимо проверить, что система управления может демпфировать такие колебания после устранения нарушения коммутаций. При проведении испытаний также необходимо убедиться в том, что такие колебания не усиливаются вследствие действий системы управления.

c) Проверка защиты от нарушений коммутаций и защиты вентилей от перегрузки, например пределов тока в зависимости от напряжения.

d) Проверка селективности системы защиты линий и кабелей постоянного тока, которые не должны срабатываться во время таких нарушений коммутаций.

6.5.4.3 *Основные* условия испытаний

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) Завершена настройка регуляторов системы управления.

b) Все оборудование системы постоянного тока, необходимое для передачи электроэнергии одним полюсом, должно быть готово к использованию.

c) Если испытывается передача постоянного тока, то для системы защиты линий и кабелей постоянного тока необходимо задать окончательные параметры.

d) Телекоммуникационная система должна быть введена в действие.

e) Конфигурация примыкающей к инвертору системы переменного тока должна быть такой, чтобы значение эффективного отношения короткого замыкания было близко к минимальному расчетному значению.

6.5.4.4 Порядок испытаний

a) Испытания должны быть проведены в прямом и реверсивном режимах передачи.

b) Испытания могут быть проведены при различных значениях тока вплоть до номинального.

c) Если испытывается передача постоянного тока, содержащая несколько последовательно подключенных преобразовательных устройств в полюсе, необходимо обеспечить проведение испытаний всех находящихся в эксплуатации преобразовательных устройств и, если это допускается конструкцией подстанции, также при уменьшенном числе преобразовательных устройств на полюс.

В ходе испытаний контролируют следующие сигналы:

- измеренный угол включения;
- отпирающие импульсы вентилей.

Места измерения могут быть разными в зависимости от системы.

d) Нарушение коммутаций вентиля при работе преобразователя в режиме инвертора или выпрямителя осуществляется посредством блокировки отпирающих импульсов. Место блокировки импульсов выбирают с учетом особенностей конструкции вентиля, так как блокирование одного отпирающего импульса в системе управления может инициировать определенные действия в системе управления и защиты, что может привести к аварийной ситуации.

e) Длительность приложенного нарушения коммутации увеличивают постепенно:

- длительность меньшая, чем время, необходимое для срабатывания защит;
- длительность, достаточная для срабатывания функции защиты, например ограничение величины тока в зависимости от величины постоянного напряжения;
- длительность, достаточная для срабатывания защиты от повторяющихся нарушений коммутации или отказов включения (запирание преобразователя).

Если испытывается передача постоянного тока, то необходимо провести испытания с включенной и отключенной телекоммуникационной системой.

6.5.4.5 Критерии приемлемости результатов испытаний

Критерии испытания зависят от длительности нарушения коммутации и селективности системы защиты.

a) Не допускается срабатывание систем защиты. Устройства управления должны надежно сработать и восстановить нормальный режим в течение предусмотренного времени. Все колебания должны быть демпфированы.

b) Должна сработать система защиты от перегрузки вентиля. Управляющее действие должно снизить постоянный ток, а система должна восстановиться после завершения нарушений коммутации.

c) Должна сработать система защиты от повторяющихся нарушений коммутации. Расчетная последовательность запирания преобразователя должна выполняться корректно. Не допускается воздействие аварийных токов и напряжений на компоненты систем переменного и постоянного тока.

6.5.5 Взаимодействие с системами переменного тока/управление

6.5.5.1 Общие положения

Управляемость систем ПТВН является важным преимуществом этой технологии. Дополнительные функции управления системы ПТВН позволяют улучшить динамические характеристики примыкающих систем переменного тока.

Для достижения упомянутых преимуществ системы управления ПТВН должны работать надлежащим образом при различных возмущениях и схемно-режимных условиях. Контуры управления не должны оказывать друг на друга отрицательное воздействие.

Для получения надлежащих эксплуатационных характеристик системы управления может потребоваться работа при углах включения выпрямителя больше номинальных или при углах отключения инвертора меньше номинальных.

Дополнительные функции управления системы ПТВН для взаимодействия с примыкающими системами переменного тока:

a) регулирование частоты;

b) частотная разгрузка;

c) демпфирование колебаний/субсинхронных колебаний мощности,

d) регулирование реактивной мощности/напряжения переменного тока;

e) специальные функции управления, работающие во время коротких замыканий (см. 6.6).

Проверку корректности обработки команд частотной разгрузки, выполнения функций регулирования частоты, демпфирования колебаний мощности выполняют с помощью моделирования в режиме реального времени. Испытания при взаимодействии ПТВН с реальными примыкающими системами переменного тока могут использоваться только для оценки результатов при определенном испытании. Необходимость выполнения такого испытания на объекте ПТВН определяется эксплуатирующей организацией и заказчиком.

Примечание — Дополнено с целью учета особенностей терминологии и порядка проведения испытаний систем постоянного тока высокого напряжения, применяемых в Российской Федерации.

6.5.5.2 Цель испытаний

Цель испытаний заключается в подтверждении результатов компьютерного моделирования, *в проверке корректности функционирования соответствующих контуров системы регулирования.*

6.5.5.3 *Основные* условия испытаний

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) Должны быть завершены заводские испытания системы управления.

b) Должны быть завершены испытания преобразовательного устройства.

c) Должны быть проверены последовательности операций пуска и отключения системы ПТВН.

d) Должны быть проверены последовательности срабатывания защит, блокировок и отключений.

e) Телекоммуникационная система должна быть введена в действие.

f) Испытания системы регулирования при ступенчатых возмущениях должны быть завершены, а регуляторы настроены.

g) Испытания при переходах между режимами управления должны быть завершены.

6.5.5.4 Порядок испытаний

Допускается использовать различные процедуры испытаний регуляторов ПТВН при взаимодействии с системой переменного тока в зависимости от конкретных условий применения и реализации регуляторов. Ниже приведено описание стандартных процедур.

1) Регулирование частоты

a) Система постоянного тока находится в режиме управления для поддержания заданной мощности в установившемся режиме.

b) На вход канала регулирования частоты соответствующего регулятора подать сигнал, имитирующий отклонение частоты Δf в системе в сторону увеличения, либо в модели реального времени примыкающей сети произвести коммутации элементов, приводящие к изменению частоты в системе на заранее определенную величину Δf в сторону увеличения.

c) Уровень величины мощности P_0 до момента подачи воздействия должен быть таким, чтобы во время изменения величины мощности, вызванной изменением частоты в системе, никакие параметры режима не достигали предельных значений.

d) Длительность проведения опыта должна быть достаточной для того, чтобы система ПТВН успела выйти на новый установившийся режим после изменения величины уставки тока, а частота в примыкающей системе переменного тока — стабилизироваться на заданном уровне.

e) На вход канала регулирования частоты соответствующего регулятора подается сигнал, имитирующий отклонение частоты в системе Δf в сторону уменьшения, либо в модели реального времени примыкающей сети производятся коммутации элементов, приводящие к изменению частоты в системе на величину Δf в сторону уменьшения. Соблюдать условия перечислений a), c) и d).

f) Возможно проведение дополнительных испытаний с различными по величине отклонениями Δf для проверки устойчивости и взаимодействия с другими контурами управления.

2) Частотная разгрузка

a) Система постоянного тока находится в режиме управления для поддержания заданной мощности в установившемся режиме.

b) На соответствующий вход регулятора мощности подается ступенчатое изменение величины мощности ΔP в соответствии с приведенным ниже описанием.

c) Уровень величины мощности P_0 до момента подачи воздействия должен быть таким, чтобы во время изменения величины мощности никакие параметры режима не достигали предельных значений.

d) Длительность проведения опыта должна быть достаточной для того, чтобы система ПТВН успела выйти на новый установившийся режим после изменения величины уставки тока.

3) Демпфирование колебаний/субсинхронных колебаний мощности

a) Система постоянного тока находится в режиме управления для поддержания заданной мощности в установившемся режиме.

b) В модели реального времени примыкающей сети производятся коммутации элементов или изменения параметров элементов, приводящие к колебаниям мощности в примыкающих линиях переменного тока (или субсинхронным колебаниям мощности).

c) Уровень величины мощности P_0 до момента подачи возмущения должен быть таким, чтобы во время изменения величины мощности, вызванной колебаниями мощности в примыкающих линиях переменного тока, никакие параметры режима не достигали предельных значений.

d) Длительность проведения опыта должна быть достаточной для того, чтобы система ПТВН успела выйти на установившийся режим после изменений величины уставки тока, а колебания мощности в примыкающих линиях переменного тока (или субсинхронные колебания) затухли.

Примечание — Дополнено с целью учета особенностей терминологии и порядка проведения испытаний систем постоянного тока высокого напряжения, применяемых в Российской Федерации.

Параметры системы регулирования должны быть скорректированы исходя из результатов заводских испытаний с помощью моделирования, и их значения точно воспроизведены на реальной системе ПТВН.

Испытания характеристик управления во время возмущений должны быть тщательно спланированы. Для проверки взаимодействия системы ПТВН с системой переменного тока допускается инициирование возмущений в модели системы переменного тока или изменение рабочих режимов системы ПТВН следующим образом:

a) изменение мощности;

b) сброс нагрузки (моделирование коротких замыканий в линии постоянного тока);

c) коммутация линии переменного тока;

d) отключение генератора;

e) плавное изменение мощности постоянного тока;

f) реверс мощности;

g) подача питания на трансформатор;

h) коммутация фильтров;

i) короткие замыкания в линиях переменного или постоянного тока;

j) управление системой возбуждения генератора.

Некоторые из упомянутых выше инициирующих функций также рассматриваются в 6.4, 6.5 и 6.6.

4) Регулирование реактивной мощности/напряжения переменного тока

Процедура испытаний приведена ниже.

a) Установить ручной режим регулирования реактивной мощности и режим регулирования активной мощности.

b) Начать передачу электроэнергии ПТВН при малой мощности.

c) Задать уставку реактивной мощности, учитывая требуемый переток реактивной мощности между преобразователем и сетью переменного тока.

d) Плавно увеличивать передаваемую мощность, следя за изменением угла отключения δ инвертора по мере увеличения мощности; затем плавно уменьшать передаваемую мощность, также следя за изменением угла отключения δ инвертора по мере уменьшения мощности.

e) Задать *уставку* регулятора напряжения на шинах переменного тока и перейти в режим регулирования напряжения переменного тока.

f) Изменить уставку напряжения на шинах переменного тока и проследить за изменением угла отключения δ инвертора в соответствии с измененной настройкой.

g) Повторить испытания при более высоком уровне передаваемой мощности.

h) Повторить испытания в режиме регулирования тока.

Примечание — Дополнено с целью учета особенностей терминологии и порядка проведения испытаний систем постоянного тока высокого напряжения, применяемых в Российской Федерации.

6.5.5.5 Критерии приемлемости результатов испытаний

Критерии приемлемости результатов испытаний приведены ниже.

a) Цель испытаний на этом этапе — проверка соответствия переходных процессов при коротких замыканиях в системах ПТВН и взаимосвязанных с ней примыкающих системах переменного тока соответствующим расчетным переходным процессам, полученным при заводских испытаниях.

b) Все характеристики переходных процессов должны соответствовать тем характеристикам, которые были получены в ходе заводских испытаний. В случае возникновения отклонений между результатами испытаний реальной системы постоянного тока и результатами заводских испытаний такие отклонения должны быть объяснены.

c) Не допускается возникновение неустойчивого состояния при проведении испытаний на взаимодействие/управление систем переменного тока.

6.6 Искусственные короткие замыкания в системе переменного и постоянного тока

6.6.1 Общие положения

6.6.1.1 Короткие замыкания в сети переменного тока

Реакция системы ПТВН при коротких замыканиях, возникающих в примыкающих сетях переменного тока, должна быть точно определена, что позволит выполнить соответствующие управляющие действия. Также необходимо применять современные цифровые инструменты для моделирования процессов при коротких замыканиях. В ходе моделирования должны быть проверены надлежащие функционирование и координация оборудования управления и защиты, при этом нагрузки на все компоненты систем переменного и постоянного тока не должны выходить за допустимые пределы. Для поддержания устойчивости, как правило, переток мощности в системе постоянного тока должен быть восстановлен достаточно быстро после восстановления коммутирующих напряжений после отключения короткого замыкания. Напряжение может быть значительно искажено вследствие воздействия бросков тока при включении. Это может усложнить задачи системы управления и привести к возникновению искажений тока в устройствах релейной защиты и автоматики (РЗА) системы переменного тока, что связано с риском ложных срабатываний системы защит.

Необходимость проведения искусственных коротких замыканий в сети переменного тока для проведения испытаний системы ПТВН согласуется между разработчиком и эксплуатирующей организацией. Как правило, для проверки работы устройств защиты и автоматики систем переменного и постоянного тока достаточно применять компьютерное моделирование, в том числе моделирование в режиме реального времени.

Примечание — Дополнено с целью учета особенностей терминологии и порядка проведения испытаний систем постоянного тока высокого напряжения, применяемых в Российской Федерации.

Испытания с *искусственными* короткими замыканиями, предназначенные для проверки работы устройств защиты систем переменного и постоянного тока в ходе испытаний на месте эксплуатации, могут потребовать создания определенных условий в системе, что может привести к значительным нагрузкам на затронутое оборудование и повлиять на срок службы такого оборудования.

Неустойчивые короткие замыкания в линии постоянного тока, как правило, отключаются посредством комбинированного действия системы защиты и управления преобразователя, которая осуществляет гашение электрической дуги посредством временной блокировки или принудительного замедления выпрямителя.

В случае устойчивого короткого замыкания на стороне постоянного тока система защиты должна локализовать секцию линии, где возникло короткое замыкание, отключить ее и как можно быстрее вос-

становить, если это возможно, первоначальный поток мощности, в зависимости от конструкции линии постоянного тока. Последствия коротких замыканий в системе постоянного тока на системы переменного тока в целом менее серьезные, чем последствия, возникающие при коротких замыканиях в системе переменного тока.

6.6.1.2 Цель испытаний

Ниже перечислены цели испытаний.

a) Проверка характеристик переходных процессов во время возмущений, вызванных короткими замыканиями в системах постоянного и переменного тока, а также способности системы ПТВН восстанавливаться после этих возмущений.

b) Проверка восстановления работы преобразователей без нарушений коммутации или с заданным максимальным количеством нарушений коммутаций в случае возникновения удаленных коротких замыканий в системе переменного тока.

c) Проверка восстановления передаваемой мощности постоянного тока в течение заданного времени после отключения близких коротких замыканий.

d) Проверка восстановления номинальной мощности постоянного тока в течение заданного времени после отключения короткого замыкания на стороне постоянного тока, что в определяющей степени зависит от конструкции системы ПТВН и типа линии постоянного тока — воздушной или кабельной.

e) Проверка корректности работы устройств РЗА как в системе постоянного тока, так и в системе переменного тока.

6.6.1.3 *Основные* условия испытаний

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) Оборудование систем переменного и постоянного тока должно находиться под напряжением.

b) Должны быть завершены базовые эксплуатационные испытания.

c) Должны быть проверены изменения конфигурации системы постоянного тока (см. 6.3).

d) Должно быть проверено функционирование устройств РЗА на стороне переменного тока.

e) Должны быть проверены эксплуатационные характеристики систем управления и защиты (см. 6.5).

f) Должна быть проверена коммутация основного оборудования (см. 6.4).

6.6.1.4 Порядок испытаний

1) Условия перед возникновением короткого замыкания

Перед созданием искусственных коротких замыканий должны быть определены схемно-режимные параметры предаварийного и послеаварийного режимов:

a) телекоммуникационная система включена или отключена;

b) частота в системах переменного тока (для изолированных сетей);

c) напряжение в системе переменного тока до и после короткого замыкания;

d) конфигурация системы переменного тока до и после короткого замыкания (находящиеся в эксплуатации *отходящие* линии, расположенные поблизости генераторы, нагрузки и т. д.);

e) уровень короткого замыкания на каждой стороне системы постоянного тока;

f) начальный поток мощности постоянного тока;

g) конфигурация системы ПТВН, включая фильтры переменного и постоянного тока;

h) расчетная длительность короткого замыкания;

i) место короткого замыкания.

2) Конфигурация системы переменного тока

Для проведения опытов искусственных коротких замыканий необходимо разработать специальную конфигурацию систем переменного тока для поддержания определенного уровня эксплуатационной надежности в энергосистемах с учетом возможных рисков неправильных срабатываний устройств защит.

3) Мониторинг сигналов

Требуется мониторинг большого количества сигналов вследствие невозможности многократного повторения испытаний такого типа из-за их стоимости, нагрузок на оборудование и по соображениям безопасности. Для осуществления достоверного мониторинга явлений необходимо иметь резервную систему мониторинга.

4) Регистрация сигналов

Регистрируют следующие сигналы.

На стороне системы:

- значения напряжения и силы тока каждой фазы;

- напряжения постоянного тока на обоих полюсах;
- значения переменного тока в фидерах преобразователей на каждой фазе;
- сила постоянного тока на каждом полюсе и на каждом соединении нейтрали постоянного тока;
- значения переменного тока в батареях фильтров.

Для системы управления:

- основные события (включение-отключение, запирание-отпирание, размыкание и замыкание выключателей);
- основные сигналы системы защиты (например, защита от перенапряжения, защита от нарушений коммутации),
- величины углов включения;
- импульсы отпирания для каждого 12-импульсного преобразовательного устройства;
- результаты измерений углов управления и погасания,
- величины тока.

Некоторые дополнительные сигналы (при необходимости):

- напряжение на каждом вентиле каждого преобразовательного устройства (при этом могут потребоваться специальные делители);
- тактовый сигнал для обеспечения синхронизации между регистрирующими устройствами на преобразовательных подстанциях и, возможно, на некоторых расположенных поблизости генерирующих подстанциях.

Для коротких замыканий в системе переменного тока — некоторые сигналы на другой преобразовательной подстанции, например напряжение и выпрямленный ток, уставка тока и уставка угла включения.

5) Уровень мощности ПТВН

Принятый уровень мощности в системе ПТВН зависит от конфигурации системы переменного тока, подготовленной для испытаний с учетом запланированного объема генерируемой мощности.

6) Безопасность

Искусственные короткие замыкания могут создавать определенные риски, что обуславливает необходимость мер для обеспечения гарантированного безопасного использования оборудования и процедур для безопасного отключения коротких замыканий.

7) Создание короткого замыкания

Короткое замыкание на землю может быть создано различными способами. Например, на одной из опор можно подвесить тонкую медную проволоку с грузом, после чего отпустить ее для создания маятникового движения в направлении к находящимся под напряжением проводникам, что приведет к возникновению дугового разряда на землю. В некоторых случаях для создания короткого замыкания, особенно при работе внутри помещений, можно устанавливать временные переключатели.

6.6.1.5 Тип испытаний

1) Удаленное однофазное короткое замыкание на землю и удаленное трехфазное короткое замыкание

В ходе этих испытаний оценивают чувствительность преобразователей к нарушению коммутации.

2) Близкое однофазное короткое замыкание на землю

При проведении такого испытания выполняют оценку способности устройств управления подавлять пульсации напряжения постоянного тока с частотой 100 Гц или 120 Гц до приемлемого уровня, а также оценку способности быстрого восстановления в случае срабатывания автоматической защитной блокировки при возникновении короткого замыкания.

3) Близкое трехфазное короткое замыкание

При проведении такого испытания выполняют оценку способности быстрого восстановления перетока мощности.

4) Короткое замыкание на землю шин переменного тока

Ниже перечислены цели испытаний.

a) Это испытание, помимо прочего, имеет те же цели, что и испытание при близком однофазном коротком замыкании на землю.

b) При проведении такого испытания выполняют оценку возможных последствий протекания тока короткого замыкания в заземленной сети.

c) При проведении такого испытания проверяют нечувствительность устройств управления к возмущениям и нормальное функционирование системы защиты.

5) Короткое замыкание в линии постоянного тока

Ниже перечислены цели испытаний.

a) В ходе этих испытаний проверяют корректность срабатывания защиты линии постоянного тока и автоматической последовательности восстановления после короткого замыкания.

b) При близких коротких замыканиях выполняют проверку координации изоляции в распределительном устройстве постоянного тока.

c) При удаленных коротких замыканиях выполняют проверку способности системы защиты линии к селективности между короткими замыканиями в линии и короткими замыканиями на другой подстанции.

d) Выполняют проверку наличия ложных срабатываний защиты постоянного тока на рабочем полюсе.

e) Выполняют проверку приборов для определения места повреждения на линии постоянного тока.

6.6.1.6 Критерии приемлемости результатов испытаний

Критерии приемлемости результатов испытаний приведены ниже.

a) Система ПТВН должна сохранять устойчивость во время и после короткого замыкания.

b) Должна обеспечиваться правильная работа устройств РЗА как в системе постоянного тока, так и в системе переменного тока.

c) Переходные напряжения переменного и постоянного тока должны оставаться в пределах, определенных по результатам анализа координации изоляции.

d) Время восстановления мощности постоянного тока должно находиться в заданных пределах.

e) Не допускается превышение предусмотренного максимального числа нарушений коммутации за определенный интервал времени.

f) Следует сравнить результаты опытов с искусственными короткими замыканиями с результатами, полученными при компьютерном моделировании при проведении заводских испытаний. В случае возникновения отклонений между результатами испытаний реальной системы постоянного тока и результатами заводских испытаний такие отклонения следует объяснить.

6.7 Отказы телекоммуникационного, вспомогательного или дублирующего оборудования

6.7.1 Потеря телекоммуникационной связи между терминалами

6.7.1.1 Общие положения

1) Типы сигналов

Между подстанциями ПТВН может осуществляться передача информации различного типа, при этом для каждого типа предусмотрены специфические эксплуатационные характеристики.

2) Сигналы управления

Ниже перечислены сигналы для управления:

a) уставка мощности;

b) уставка тока;

c) сигнал режима регулирования частоты;

d) сигнал режима демпфирования колебаний мощности;

e) *перевод удаленной подстанции в режим максимальных углов управления.*

Порядок проведения операций включает:

a) изменение режима управления при эксплуатации;

b) работа переключателей;

c) *запирание/отпирание.*

Индикация состояния включает в себя:

a) положение переключателей;

b) количество работающих преобразователей;

c) измеренные значения;

d) аварийные сигналы;

e) голосовая связь;

f) сигналы аппаратуры для определения места короткого замыкания в линии постоянного тока.

Последствия отказа телекоммуникационного канала определяют для каждого отдельного типа передаваемой информации, при этом наиболее важную информацию, как правило, передают с использованием резервированных телекоммуникационных систем, а испытания необходимо проводить при условии отказа резервной системы.

В большинстве случаев системы ПТВН разработаны таким образом, что отказ телекоммуникационной системы, как правило, не приводит к прерыванию или значительному изменению существующего уровня передаваемой мощности. Телекоммуникационные каналы между преобразовательными подстанциями используют для улучшения условий эксплуатации и переходных эксплуатационных характеристик или для реализации специальных функций управления, например регулирования частоты или демпфирования колебаний мощности.

Отказ телекоммуникационной системы должен включить предварительно заданную последовательность срабатывания устройств управления и защиты, которая может завершиться ограничением перетока мощности на уровне, наблюдавшемся до момента возникновения отказа.

Испытания на отказ телекоммуникационной системы следует проводить в комбинации с другими испытаниями при передаче мощности.

6.7.1.2 Цель испытаний

Ниже перечислены цели испытаний.

a) Проверка, что работа системы ПТВН и ее влияние на систему переменного тока в момент отказа телекоммуникационной системы при передаче электроэнергии или во время выполнения последовательности включения соответствуют требованиям технических условий.

b) Проверка защищенности сообщений от внешних воздействий, как, например, помех и т. д.

6.7.1.3 *Основные* условия испытаний

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) Надлежащая работа телекоммуникационной системы должна быть проверена в ходе испытаний подсистем при полевых испытаниях.

b) Работа цепей управления и защиты должна быть проверена при включенной и отключенной телекоммуникационной системе.

c) Должна быть проверена способность системы выполнить безопасное отключение при неработающей телекоммуникационной системе.

d) Топология линии, объем передаваемой электроэнергии и последовательность действий в случае отказа телекоммуникационной системы должны определяться целями каждого конкретного испытания.

e) При функционировании в установившемся режиме и при плавном увеличении мощности/тока уровень передаваемой мощности должен быть значительным и должен быть установлен соответствующий режим управления системой ПТВН.

f) При выполнении последовательностей включения и отключения необходимо проведение испытаний по расширенной программе в зависимости от заданной стратегии управления.

6.7.1.4 Порядок испытаний

Испытания проводят в различных режимах эксплуатации:

a) во время работы в установившемся режиме, когда следует проверить влияние на величину уставки мощности/тока, передаваемую мощность;

b) во время плавного изменения уставки тока или мощности;

c) во время выполнения последовательностей включения и отключения.

Испытания проводят при отключении на предусмотренный период времени всех межподстанционных телекоммуникационных каналов, за исключением каналов голосовой связи оперативного персонала. Надежность прохождения сообщений проверяют путем моделирования внешних помех и (или) других возмущений.

6.7.1.5 Критерии приемлемости результатов испытаний

Критерии приемлемости результатов испытаний приведены ниже.

a) Система ПТВН должна сохранять устойчивость, а влияние на системы переменного тока должно находиться в заданных пределах.

b) Не допускается нештатная работа систем защит.

c) Последовательности включения и отключения должны безопасно завершаться с отображением индикации, показывающей статус завершенной последовательности.

6.7.2 Отказ вспомогательных источников питания

6.7.2.1 Общие положения

Вспомогательные источники питания подстанции ПТВН могут подразделяться на три категории в зависимости от требуемого для работы системы ПТВН уровня надежности:

a) источники переменного тока общего назначения без резервирования;

b) источники переменного тока с автоматическим переключением на резервный источник переменного тока;

c) источники бесперебойного питания, включая резервные дизельные генераторы.

6.7.2.2 Цель испытаний

Ниже перечислены цели испытаний.

a) Проверка, что кратковременные прерывания вспомогательного питания при переключении не приводят к нарушениям передачи электроэнергии ПТВН.

b) Проверка, что в случае полного отключения всех вспомогательных источников питания, за исключением источников бесперебойного питания, производится безопасное и контролируемое отключение преобразовательной подстанции ПТВН.

c) Проверка, что в случае отключения источника бесперебойного питания (при его наличии) производится безопасное отключение системы ПТВН.

6.7.2.3 *Основные* условия испытаний

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) Завершена проверка надлежащего функционирования систем переключения на резервные источники питания, как, например, автоматического переключения при понижении напряжения.

b) Завершена проверка исправности, производительности и эксплуатационных характеристик источника бесперебойного питания.

6.7.2.4 Порядок испытаний. Критерии приемлемости результатов испытаний

Испытания источников переменного тока с функцией автоматического переключения, которые используются для подачи питания на охлаждающие вентиляторы, насосы и другое ответственное оборудование, предназначенное для устройств большой мощности, следует проводить без нагрузки и с полной нагрузкой. Испытания проводят отдельно для каждого типа вспомогательных подсистем в следующем порядке.

a) Полный отказ системы вспомогательного питания переменного тока.

Система постоянного тока должна безопасно отключиться в заданной последовательности. Если предусмотрена группа резервных генераторов, то генераторы должны запуститься в установленное время и обеспечить питание соответствующей нагрузки.

b) Отказ вспомогательного питания с автоматическим переключением на резервное питание.

Производят переход на второй источник питания переменного тока. Проверяют время переключения и условия повторного пуска асинхронных электродвигателей. Подача охлаждающего агента не должна прерываться на время, превышающее установленные пределы для соответствующего оборудования.

c) Отказ резервного питания оборудования управления, защиты и телекоммуникации.

Оборудование управления и защиты должно продолжать работать согласно установленным требованиям.

d) Полный отказ питания управляющего оборудования.

Функции защиты должны обеспечивать безопасное отключение системы постоянного тока.

6.7.3 Отказ резервного оборудования

6.7.3.1 Общие положения

Системы ПТВН могут оснащаться различным резервным управляющим, защитным и измерительным оборудованием, предназначенным для повышения надежности системы.

6.7.3.2 Цель испытаний

В случае отказа система ПТВН должна переключиться на исправный резервный компонент оборудования и продолжать работу, как предусмотрено.

6.7.3.3 *Основные* условия испытаний

Должна быть проверена и подтверждена корректность функционирования системы управления и защиты со всеми резервными компонентами.

6.7.3.4 Порядок испытаний. Критерии приемлемости результатов испытаний

Программа испытаний в значительной степени зависит от концепции резервирования, используемой при проектировании системы. В ходе испытаний моделируют отказ резервных компонентов в таких режимах отказов, которые, с одной стороны, наиболее вероятны, а с другой стороны, отказ которых может иметь наиболее неблагоприятные последствия для системы. Система должна реагировать, как предусмотрено в техническом задании.

6.8 Испытания при передаче электроэнергии высокой мощности

6.8.1 Общие положения

6.8.1.1 Общая цель

Испытания при передаче электроэнергии высокой мощности предназначены для проверки эксплуатационных характеристик системы ПТВН в установившемся режиме. В ходе предварительных наладочных испытаний, включая испытания преобразовательных подстанций и испытания при передаче электроэнергии низкой мощности, должна быть подтверждена корректность работы оборудования постоянного тока при низкой мощности.

6.8.1.2 Общие *основные* условия

Ниже приведены общие *основные* условия.

a) Должны быть завершены приемо-сдаточные испытания всех преобразовательных устройств.

b) Должны быть завершены приемо-сдаточные испытания системы ПТВН, подтверждающие обеспечение устойчивой работы ПТВН.

c) Условия окружающей среды находятся в пределах, указанных в технических условиях.

6.8.1.3 Цель испытаний

Ниже перечислены цели испытаний.

a) Проверка устойчивой работы системы ПТВН в пределах, заданных в технических условиях.

b) Измерение уровней гармоник переменного и постоянного тока, акустического шума, коронных разрядов и уровней помех (по указанию эксплуатирующей организации).

c) Проверка, что перегрузки, тепловой режим и эксплуатационные характеристики заземляющего электрода находятся в предусмотренных пределах.

6.8.2 Эксплуатационные испытания в установившемся состоянии

6.8.2.1 Общие положения

Системные параметры измеряют при номинальном уровне и прочих уровнях мощности, при различных заданных конфигурациях и режимах управления, что создает необходимые условия для измерений с целью проверки того, что электрические и акустические шумы находятся в предусмотренных пределах.

6.8.2.2 Цель испытаний

Испытание проводят для проверки возможности устойчивой передачи электроэнергии в установленных пределах при различных условиях.

6.8.2.3 *Основные* условия испытаний

Должны быть завершены наладочные испытания системы управления реактивной мощностью. Условия работы сети переменного тока должны соответствовать заданным условиям.

6.8.2.4 Порядок испытаний

Измеряют различные эксплуатационные параметры при работе системы ПТВН в различных режимах, в том числе:

a) эксплуатация при малой и номинальной мощности, а также на каждом уровне мощности, при котором происходит коммутация фильтра или элементов оборудования, выдающих или потребляющих реактивную мощность, а также при передаче электроэнергии ПТВН в условиях перегрузки по передаваемой мощности;

b) при различных конфигурациях системы ПТВН и системы переменного тока;

c) эксплуатация при пониженном напряжении ПТВН;

d) нормальная эксплуатация с заданными параметрами конфигурации фильтра;

e) эксплуатация с отключенными батареями фильтров или батареями для компенсации реактивной мощности;

f) установившийся режим по частоте и напряжению переменного тока;

g) экстремальные условия окружающей среды (в максимально возможной степени);

h) работа в биполярном и монополярном режимах с возвратом тока через землю или обратный провод, а также без такого возврата.

6.8.2.5 Критерии приемлемости результатов испытаний

Критерии приемлемости результатов испытаний приведены ниже.

a) Работа системы передачи электроэнергии ПТВН должна быть устойчивой.

b) Параметры передачи электроэнергии ПТВН должны соответствовать установленным требованиям и находиться в заданных пределах.

6.8.3 Управление реактивной мощностью

6.8.3.1 Общие положения

При работе системы передачи электроэнергии ПТВН происходит потребление реактивной мощности и возникают гармонические составляющие тока и напряжения. Предназначенные для компенсации реактивной мощности элементы (фильтры переменного и постоянного тока, шунтирующие реакторы, сглаживающие реакторы постоянного тока) специально разработаны для исключения влияния системы ПТВН на примыкающие системы переменного тока. Некоторые функции управления рассмотрены в 6.2.4 и 6.4.3. Проверка возможности включения хотя бы одного фильтра или минимального количества фильтров по условиям фильтрации гармоник, а также функции автоматического разряда конденсаторных батарей может быть проведена в ходе других испытаний.

Примечание — См. ДБ.3 (приложение ДБ).

6.8.3.2 Цель испытаний

В настоящем пункте рассматривают эксплуатационные характеристики и график коммутации фильтрокомпенсирующих устройств в зависимости от изменения мощности системы ПТВН, которые измеряют и сравнивают с расчетными величинами, что может использоваться для оценки функции регулирования реактивной мощности и получения важных исходных данных для условий эксплуатации.

6.8.3.3 *Основные* условия испытаний

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) Схемно-режимные параметры сети переменного тока должны находиться в заданных пределах.

b) Необходимо иметь в распоряжении результаты анализа уровней и спектра гармонических колебаний, генерируемых системой ПТВН.

c) Необходимо иметь в распоряжении результаты конструкторской проработки фильтров переменного и постоянного тока.

d) Необходимо иметь в распоряжении результаты анализа электромагнитной совместимости оборудования.

e) Необходимо иметь в распоряжении результаты измерений с указанием исходных уровней и спектра различных гармоник в системе переменного тока.

f) Должны быть готовы данные предварительных эксплуатационных испытаний фильтров переменного и постоянного тока.

g) Должна быть подготовлена испытательная контрольно-измерительная аппаратура и система сбора данных.

h) Должно быть подготовлено оборудование для измерения гармонических колебаний.

6.8.3.4 Порядок испытаний

Измерения проводят при различных заданных конфигурациях и режимах управления системы ПТВН, включая следующие:

a) режим ожидания;

b) эксплуатация при малой и номинальной мощности, а также на каждом уровне мощности, при котором происходит коммутация фильтра или компонента реактивной мощности, а также при передаче электроэнергии ПТВН в условиях перегрузки по мощности;

c) при различных конфигурациях системы ПТВН и системы переменного тока;

d) эксплуатация при пониженном напряжении ПТВН;

e) нормальная эксплуатация с заданными параметрами конфигурации фильтра;

f) эксплуатация с отключенными батареями фильтров или батареями для компенсации реактивной мощности;

g) установившийся режим по частоте и напряжению переменного тока;

h) экстремальные условия окружающей среды (в максимально возможной степени);

i) работа в биполярном и монополярном режимах с возвратом тока через землю или обратный провод, а также без такого возврата.

6.8.3.5 Критерии приемлемости результатов испытаний

Критерии приемлемости результатов испытаний приведены ниже.

a) Эксплуатационные характеристики и график коммутации фильтрокомпенсирующих устройств должны соответствовать расчетным значениям.

b) Эксплуатационные характеристики системы передачи электроэнергии ПТВН и комбинации батарей фильтров должны находиться в заданных пределах.

c) Не допускаются перегрузки батарей фильтров переменного и постоянного тока.

6.8.4 Испытание при перегрузке/измерения температуры оборудования

6.8.4.1 Общие положения

Системы ПТВН могут быть спроектированы и рассчитаны на эксплуатацию в условиях перегрузки, когда уровень передачи электроэнергии ПТВН превышает номинальную величину. Эксплуатация в условиях перегрузки может привести к уменьшению эффективности системы ПТВН по следующим причинам:

a) уменьшение расчетного срока службы вследствие перегрева оборудования;

b) уменьшение надежности вследствие использования резервного оборудования во время работы с перегрузкой;

c) ограниченный диапазон эксплуатации из-за температуры окружающей среды;

d) ограниченный рабочий диапазон для таких критических эксплуатационных параметров, как компенсация реактивной мощности и характеристики фильтров гармоник;

e) пределы управляющих и измерительных устройств.

Условия эксплуатации и проектные требования к системам переменного и постоянного тока должны быть заданы таким образом, чтобы обеспечивалась работа в условиях перегрузки без повреждений компонентов. К основному оборудованию, на которое может влиять работа в условиях перегрузки, относятся тиристорные вентили, системы охлаждения вентилей, трансформаторы преобразователей, фильтры гармоник, сглаживающий реактор, трансформаторы тока и напряжения, проходные изоляторы, шинопроводы и линии электропередачи.

Все компоненты в системе ПТВН рассчитаны на эксплуатацию при определенной допустимой рабочей температуре. Охлаждение таких компонентов производится естественным путем или принудительно. Для охлаждения основных компонентов, таких как вентили, трансформаторы и сглаживающие реакторы, предусматриваются специальные системы охлаждения. В большинстве случаев системы охлаждения дублируются для повышения эксплуатационной готовности. В программу нагрузочных испытаний необходимо включить комплексные эксплуатационные испытания охлаждающих систем. Способности к перегрузке зависят от нагрузочной способности главных компонентов и температуры окружающей среды.

При проведении испытания на нагрев при длительной работе, которое также именуется нагрузочным испытанием, выполняют проверку работы системы передачи электроэнергии ПТВН в устойчивом режиме в течение предусмотренного периода времени при номинальной мощности или с перегрузкой. Если назначены другие испытания для определения потерь в дополнение к выполненным на заводе испытаниям, то они могут быть проведены в ходе нагрузочных испытаний.

6.8.4.2 Цель испытаний

Ниже перечислены цели испытаний.

a) Проверка способности системы ПТВН к работе в условиях перегрузки.

b) Подтверждение повышения температуры отдельных компонентов оборудования в допустимых пределах.

c) Проверка надлежащего функционирования всех систем охлаждения с учетом требований к устройствам регулирования охлаждения и к резервированию.

d) Проверка способности к работе с перегрузкой в заданном диапазоне температур для всех основных компонентов системы ПТВН и системы в целом при номинальной нагрузке и, насколько это возможно, в условиях перегрузки.

6.8.4.3 *Основные* условия испытаний

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) Должны быть готовы результаты заводских испытаний на нагрев при длительной работе основного оборудования.

b) Сети переменного тока и системы передачи электроэнергии ПТВН должны быть подготовлены к проведению испытаний с перегрузкой.

c) Оборудование для измерения температуры должно быть размещено на нужных местах.

d) Условия окружающей среды должны соответствовать предусмотренным требованиям.

e) Часть системы ПТВН, предназначенная для испытаний, должна быть готова к работе.

f) Примыкающие системы переменного тока должны быть способны передать или принять мощность, которая требуется для проведения нагрузочных испытаний.

g) Температура окружающей среды должна быть максимально приближена к максимальной расчетной температуре.

h) При проведении испытаний на максимальную перегрузку температура окружающей среды должна быть минимально возможной.

6.8.4.4 Порядок испытаний

Перед началом испытаний на перегрузку система ПТВН должна отработать при номинальной нагрузке в течение времени, которое необходимо для достижения температурного равновесия для большинства электрических компонентов, как, например, преобразовательных трансформаторов, сглаживающих реакторов постоянного тока, тиристорных вентилей, фильтров гармоник переменного и постоянного тока, системы охлаждения вентилей.

После температурной стабилизации основного оборудования при полной нагрузке (как правило, от 12 до 18 ч), система ПТВН может эксплуатироваться в условиях перегрузки, которые соответствуют существующим условиям окружающей среды, при этом следует регистрировать повышение температуры основных электрических компонентов. Дополнительно следует предусмотреть мониторинг системы охлаждения вентилей с использованием устройств измерения температуры для контроля шинопровода, мест подключения, соединений, подключений нейтрали и контактов переключателей.

Система ПТВН должна быть выведена в такой режим эксплуатации, при котором температура компонентов ПТВН может достигать максимальных рабочих значений. В большинстве случаев это достигается при максимальном уровне тока, максимальной температуре окружающей среды и отключенных резервных компонентах охлаждающей системы.

В некоторых условиях применения компоненты ПТВН выходят на максимальную нагрузку с максимальной рабочей температурой в других нормальных режимах, которые не характеризуются максимальным уровнем тока (например, при углах включения, близких к значению 90°).

Нагрузочные испытания продолжают в течение достаточно длительного времени для того, чтобы температура всех компонентов гарантированно повысилась до рабочей температуры в установившемся режиме. Если максимальная температура окружающей среды не может быть достигнута, то испытания проводят при существующей окружающей температуре, а предполагаемую температуру компонентов при максимальной окружающей температуре определяют расчетом по графикам проектной нагрузки.

Температуру контролируют с помощью индикаторов температуры или посредством инфракрасного сканирования. Регистрируют температуру окружающей среды, температуру в помещении и температуру в контуре охлаждения. Все оборудование также контролируют посредством визуальных осмотров.

В условиях перегрузки допускается работа систем охлаждения с использованием всех резервных компонентов. Условия окружающей среды могут благоприятствовать повышению охлаждающей способности.

После завершения нагрузочных испытаний проводят анализ на наличие газа в масле для всех основных маслонаполненных компонентов.

6.8.4.5 Критерии приемлемости результатов испытаний

Максимальные рабочие температуры и рост температуры оборудования должны находиться в заданных пределах. Максимальная рабочая температура тестируемого оборудования должна быть приведена к максимальной температуре окружающей среды для компенсации более низкой окружающей температуры в ходе испытаний.

a) Не допускается превышение расчетной температуры компонентов ПТВН как при работе в нормальных условиях, так и при работе в условиях перегрузки.

b) Не допускается возникновение мест локального перегрева на шинопроводе и соединениях.

c) Система регулирования охлаждения должна осуществлять контроль за работой охлаждающих систем для обеспечения необходимого охлаждения при заданных условиях окружающей среды.

d) Допустимая мощность должна соответствовать указанной нагрузочной кривой.

e) Должны быть подтверждены исправность различных контуров охлаждения и соблюдение требований к резервированию.

6.9 Окончательные *приемо-сдаточные* испытания

6.9.1 Общие положения

Эксплуатационные испытания системы ПТВН и испытания уровня электромагнитных помех предназначены для проверки эксплуатационных характеристик системы ПТВН, а также подтверждения того, что электрические и акустические шумовые помехи со стороны системы ПТВН находятся в заданных пределах. Все стороны, которые могут быть подвержены воздействию при работе системы ПТВН, должны быть уведомлены заранее. К сторонам, которые могут быть подвержены воздействию, отно-

сятся находящиеся поблизости от преобразовательных подстанций и линий передачи постоянного тока местные населенные пункты, телефонные, железнодорожные, трубопроводные компании и т. д.

6.9.2 Эффективность подавления гармоник и номинальные параметры компонентов фильтров

6.9.2.1 Общие положения

Процесс преобразования энергии в системах ПТВН приводит к генерации гармонических колебаний тока и напряжения, которые оказывают влияние на примыкающие системы переменного тока, сеть постоянного тока и другие электрические системы. При проектировании и анализе гармоник систем ПТВН с целью минимизации уровня генерируемых системой ПТВН гармонических колебаний в сети переменного и постоянного тока рассматривают в том числе следующие факторы:

a) полное сопротивление сети системы переменного тока;

b) учитываемые гармоники (канонические и неканонические);

c) усиление гармоник (резонанс) в сети переменного тока;

d) угол включения вентиля;

e) реактивное сопротивление преобразовательного трансформатора и разброс значений углов включения;

f) пофазная несимметрия полных сопротивлений системы переменного тока и фильтров гармоник;

g) эффект насыщения трансформатора и паразитная емкость;

h) пределы искажения и помех в системе переменного тока;

i) чувствительность близко расположенных воздушных линий связи;

j) неустойчивость системы управления ПТВН и взаимодействие с другими активными устройствами, установленными в энергосистеме (другие ПТВН, управляемые устройства компенсации реактивной мощности и др.);

k) гармоники в сети переменного тока в исходных режимах (без системы ПТВН);

l) конфигурация системы ПТВН и электрическое сопротивление относительно земли;

m) диапазон температуры окружающей среды;

n) зависимость фазовых углов между напряжениями систем переменного тока;

o) конструкция фильтров переменного и постоянного тока.

Подключенные к шине переменного тока фильтры гармоник переменного тока уменьшают гармоники напряжения, возникающие в примыкающей сети переменного тока, и генерируемые в сеть переменного тока гармонические токи до заданного уровня.

В системах ПТВН с воздушными линиями электропередачи, как правило, применяют сглаживающие реакторы наряду с фильтрами постоянного тока в контуре постоянного тока для уменьшения гармонических токов до уровней, исключающих помехи, влияющие на близко расположенные линии связи и другие электрические системы.

Нагрузка на фильтры гармоник переменного и постоянного тока должна быть проверена, а номинальные характеристики компонентов фильтров подтверждены.

6.9.2.2 Цель испытаний

Ниже перечислены цели испытаний.

a) Подтверждение того, что гармонические колебания напряжения и тока, генерируемые системой ПТВН, уменьшаются вследствие работы фильтров переменного и постоянного тока для соответствия установленным пределам.

b) Проверка того, что гармонические колебания не вызывают недопустимых помех в сторонних телефонных и электрических системах.

c) Демонстрация того, что уровень гармоник является допустимым при работе в различных конфигурациях и предусмотренных нештатных ситуациях.

d) Проверка того, что нагрузка на компоненты фильтров не превышает номинальные характеристики отдельных компонентов.

6.9.2.3 *Основные* условия испытаний

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) Схемно-режимные параметры сети переменного тока должны находиться в заданных пределах.

b) Необходимо иметь в распоряжении результаты анализа уровней и спектра гармонических колебаний, генерируемых системой ПТВН.

c) Необходимо иметь в распоряжении результаты конструкторской проработки фильтров переменного и постоянного тока.

d) Необходимо иметь в распоряжении результаты анализа электромагнитной совместимости оборудования.

e) Необходимо иметь в распоряжении результаты измерений с указанием исходных уровней и спектра различных гармоник в системе переменного тока.

f) Должны быть готовы данные предварительных эксплуатационных испытаний фильтров переменного и постоянного тока.

g) Должны быть подготовлены испытательная контрольно-измерительная аппаратура и система сбора данных.

h) Должно быть подготовлено оборудование для измерения гармонических колебаний.

6.9.2.4 Порядок испытаний

Измерения гармонических колебаний следует выполнять в предусмотренных конфигурациях и режимах эксплуатации системы ПТВН. Следует разработать программу, в которой определены необходимые конфигурации системы ПТВН и режимы эксплуатации с определением физического местоположения устройств для измерения гармонических колебаний, с учетом условий эксплуатации системы ПТВН:

a) режим ожидания;

b) эксплуатация при малой и номинальной мощности, а также на каждом уровне мощности, при котором происходит коммутация фильтра или компонента реактивной мощности, а также при передаче электроэнергии ПТВН в условиях перегрузки по мощности;

c) при различных конфигурациях системы ПТВН и системы переменного тока;

d) любые специальные условия, при которых уровень генерируемых гармоник максимальный;

e) эксплуатация при пониженном напряжении ПТВН;

f) нормальная эксплуатация с заданными параметрами конфигурации фильтра;

g) эксплуатация с отключенными батареями фильтров или батареями для компенсации реактивной мощности;

h) установившийся режим по частоте и напряжению переменного тока;

i) экстремальные условия окружающей среды (в максимально возможной степени);

j) автоматическая настройка фильтров;

k) при проведении испытаний на гармоники в системе постоянного тока необходимо учитывать следующие дополнительные факторы:

1) защита оборудования от наведенного напряжения;
2) передача данных и влияние сигнальных цепей железной дороги;
3) влияние цепей голосовой связи;
4) возбуждение резонансных колебаний между линией ПТВН и линией заземляющего электрода;
5) постоянный ток преобразовательного трансформатора в нейтрали;
6) влияние гармонических колебаний на работу при минимальном токе передачи;
7) работа в биполярном и монополярном режимах с возвратом тока через землю или обратный провод, а также без такого возврата.

При проведении испытаний с измерением гармонических колебаний необходимо фиксировать и регистрировать условия окружающей среды вследствие чувствительности фильтров гармоник к окружающей температуре или погодным условиям.

6.9.2.5 Критерии приемлемости результатов испытаний

Критерии приемлемости результатов испытаний приведены ниже.

a) Результаты измерения эксплуатационных характеристик должны подтвердить, что гармоники на сторонах переменного и постоянного тока находятся в заданных пределах, а возмущающее воздействие на сторонние электрические системы находится в допустимом диапазоне.

b) В результате испытаний должно быть подтверждено, что параметры фильтров переменного и постоянного тока находятся в заданных пределах.

c) Не допускается перегрузка компонентов фильтров переменного и постоянного тока.

6.9.3 Акустический шум

6.9.3.1 Общие положения

Системы ПТВН излучают шум в спектре звуковых частот. Источники акустического шума (АШ) в системах ПТВН приведены ниже.

a) Оборудование преобразовательных подстанций.

К данной категории относятся такие устройства, как преобразовательные трансформаторы, сглаживающие реакторы постоянного тока, шунтирующие реакторы, реакторы и конденсаторы фильтров гармоник переменного и постоянного тока, тиристорные вентили, система охлаждения и вспомогательное оборудование. Уровень акустического шума изменяется в зависимости от условий нагрузки и значений угла включения.

b) Оборудование линий постоянного тока.

К данной категории относятся линии передачи электроэнергии ПТВН с коронными разрядами, шинопроводы подстанций и другое внешнее оборудование. Акустический шум возникает вследствие явления ионизации вблизи токопроводящих поверхностей, если напряженность электрического поля достаточно велика для возникновения пробоя в окружающем воздухе. Таким образом, генерированный коронными разрядами акустический шум может изменяться в зависимости от условий окружающей среды вследствие неровности и загрязнения токопроводящих поверхностей. Создаваемый коронными разрядами постоянного тока акустический шум, как правило, выше при высокой влажности окружающего воздуха.

c) Коммутационное оборудование.

К данной категории относятся такие устройства, как силовые автоматические выключатели, размыкающие переключатели и т. д.

Предельные показатели акустического шума оборудования преобразовательной подстанции, включая внутренние помещения, а также расположенное по периметру системы ПТВН оборудование, установлены с учетом необходимости соблюдения нормативных требований. В некоторых случаях могут потребоваться специальные мероприятия по подавлению шума, направленные на снижение уровня и уменьшение спектра акустического шума, производимого системой ПТВН.

6.9.3.2 Цель испытаний

Испытания на акустический шум предназначены для измерения шума и подтверждения того, что производимый системой ПТВН акустический шум находится в допустимых пределах.

6.9.3.3 *Основные* условия испытаний

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) Должны быть определены места для проведения измерений до и после возведения конструкций системы ПТВН.

b) Необходимо иметь в распоряжении результаты измерений, определяющие фоновые уровни и спектр акустического шума до возведения конструкций.

c) Необходимо иметь в распоряжении результаты анализа, в которых приводится оценка уровней и спектра акустического шума, передаваемого от системы ПТВН.

d) Необходимо иметь в распоряжении результаты заводских испытаний на акустический шум для выбранного оборудования.

e) Должны быть подготовлены испытательная контрольно-измерительная аппаратура и система сбора данных.

6.9.3.4 Порядок испытаний

Испытания на акустический шум следует проводить в заранее предусмотренных местах при определенных параметрах конфигурации и режимах эксплуатации системы ПТВН. Должен быть разработан план испытаний, определяющий данные конфигурации и физическое местоположение устройств для измерения акустического шума, принимая во внимание фактические условия эксплуатации системы ПТВН:

a) режим ожидания;

b) эксплуатация при малой и номинальной мощности, а также на каждом уровне мощности, при котором происходит коммутация фильтра или компонента реактивной мощности, а также при передаче электроэнергии ПТВН в условиях перегрузки по мощности;

c) любые специальные условия, при которых производится максимальный акустический шум;

d) условия проведения долговременных измерений (при необходимости).

Акустический шум может возникать вследствие коронных разрядов. Коронные разряды могут выявляться при осмотре с помощью бинокля или обнаруживаться с помощью ультразвуковых устройств обнаружения коронных разрядов.

При проведении испытаний на акустический шум необходимо фиксировать и регистрировать условия окружающей среды вследствие чувствительности приборов для измерения акустического шума к условиям окружающей среды, например к температуре воздуха, барометрическому давлению, относительной влажности, скорости и направлению ветра и фоновому акустическом шуму.

Приборы для измерения акустического шума и процедуры измерения должны соответствовать предусмотренным требованиям или соответствующим стандартам.

6.9.3.5 Критерии приемлемости результатов испытаний

Критерии испытаний для определения уровней возникающего при работе систем ПТВН акустического шума определяются для каждого объекта отдельно и в некоторой степени зависят от окружающей обстановки. Уровни акустического шума, измеренные на работающей системе ПТВН, должны находиться в предусмотренных проектом пределах.

6.9.4 Испытания для определения уровня электромагнитных помех

6.9.4.1 Общие положения

Оборудование ПТВН производит кондуктивные и излучаемые электромагнитные помехи, которые могут влиять на работу низковольтного электрооборудования, теле- и радиоаппаратуры, электронного оборудования, находящихся в непосредственной близости от элементов передачи. Импульсы от коронных разрядов на проводниках и частичные разряды на изоляторах также являются потенциальными источниками электрических помех, создаваемых системами ПТВН.

Для уменьшения помех предусматриваются фильтрующие устройства, экраны и другие способы подавления помех. Программа испытаний на соответствие техническим условиям по уровню электромагнитных помех должна включать в себя испытания, согласованные с операторами чувствительного к помехам оборудования. Критерии испытаний для определения уровней возникающих при работе систем ПТВН помех определяются для каждого объекта отдельно и зависят от окружающей обстановки и установленных норм. При определении предельных величин помех, как правило, учитывают следующие факторы:

a) радиопомехи;

b) телевизионные помехи;

c) помехи для телефонной связи;

d) помехи для систем микроволновой связи;

e) помехи для систем железнодорожной сигнализации;

f) помехи для высокочастотной связи по проводам линий электропередачи;

g) электромагнитные воздействия на цепи управления коммутационными аппаратами, цепи управления преобразовательными блоками и другими технологическими процессами, в том числе находящихся рядом предприятий и электростанций;

h) электромагнитные воздействия на организм обслуживающего персонала на предмет соответствия допустимым санитарным нормам.

Примечание — Дополнено с целью учета особенностей терминологии и порядка проведения испытаний систем постоянного тока высокого напряжения, применяемых в Российской Федерации.

6.9.4.2 Цель испытаний

Испытания на взаимные помехи предназначены для измерения и подтверждения того, что уровни помех, возникающие вследствие работы системы ПТВН, находятся в допустимых пределах и не ухудшают работу электрических цепей низкого уровня (телефонных сетей, компьютеров, радио- и телевизионных систем, железнодорожной сигнализации и другой электронной аппаратуры).

6.9.4.3 *Основные* условия испытаний

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) Необходимо иметь в распоряжении результаты исследований с оценкой уровней электромагнитных помех, ожидаемых при работе систем ПТВН.

b) Должна быть налажена координация действий с операторами чувствительного к помехам оборудования.

c) Все оборудование для подавления помех должно быть введено в работу одновременно с системами ПТВН.

d) Должны быть подтверждены невосприимчивость систем управления и защиты подстанции ПТВН к воздействию помех.

e) Должны быть подготовлены испытательная контрольно-измерительная аппаратура и система сбора данных.

6.9.4.4 Порядок испытаний

Испытания для определения уровня помех для систем ПТВН можно условно разделить на следующие категории.

a) Испытания на преобразовательной подстанции ПТВН.

Измерения проводят внутри и в непосредственной близости от огражденной территории подстанции.

b) Испытания линий передачи электроэнергии.

Измерения проводят вдоль линий электропередачи переменного тока и линий ПТВН.

Испытания на помехи проводят в заранее предусмотренных местах при определенных конфигурациях и режимах эксплуатации системы ПТВН. Должен быть разработан план испытаний, определяющий данные конфигурации и местоположение устройств для измерения помех, с учетом фактических условий эксплуатации системы ПТВН:

a) режим ожидания;

b) эксплуатация при *малой* и номинальной мощности, а также на каждом уровне мощности, при котором происходит коммутация фильтра или компонента реактивной мощности, а также при передаче электроэнергии ПТВН в условиях перегрузки по мощности;

c) любые специальные условия, при которых производятся максимальные помехи;

d) количество точек измерений и количество измерений.

Также в программе испытаний должны быть определены такие факторы, как ширина полосы пропускания и методы измерений, поправочные коэффициенты, погрешности, типы антенн, стандарты (если применимо), методы сканирования и спектры частот, погодные условия окружающей среды, напряжения, конфигурации проводников, типы и материалы конструкций, а также высотные отметки.

6.9.4.5 Критерии приемлемости результатов испытаний

Уровни помех, измеренные при работающей системе ПТВН, должны находиться в заданных расчетных пределах, а помехи не должны приводить к ухудшению условий функционирования низковольтного электрического оборудования.

6.9.5 Испытания заземляющих электродов

6.9.5.1 Общие положения

Заземляющие электроды, входящие в состав системы передачи электроэнергии ПТВН в биполярной конфигурации, обеспечивают заземление нейтрали на каждой преобразовательной подстанции. Как правило, наличие заземляющих электродов позволяет системе ПТВН работать в течение предварительно определенного периода времени в монополярной конфигурации с возвратом тока через землю, если один из полюсов биполя выведен из эксплуатации. Заземляющие электроды монополярных систем рассчитаны на работу в длительном режиме. Так как работа с возвратом тока через землю может наводить помехи в коммуникационных цепях сторонних организаций и вызывать коррозию подземных конструкций, то при подготовке программы испытаний на соответствие техническим условиям необходимо предусмотреть координацию с третьими сторонами.

6.9.5.2 Цель испытаний

Целью испытаний заземляющих электродов являются проверка конструктивных параметров заземляющих электродов и определение максимального измеренного уровня помех в различных режимах эксплуатации. Критерии проектирования заземляющих электродов в системе ПТВН зависят от особенностей каждого конкретного объекта и характеристик грунта, предполагаемых режимов эксплуатации и длительности работы при замыкании через землю в наихудшем случае. Как правило, критерии проектирования разрабатывают с учетом следующих факторов:

a) номинальный ток;

b) повышение температуры (нагрев);

c) тепловая постоянная времени;

d) распределение тока между субэлектродами;

e) плотность тока на поверхности заземляющего электрода;

f) расчетные значения удельного электрического сопротивления грунта;

g) сопротивление заземляющего электрода относительно удаленной земли;

h) сопротивление заземляющего электрода;

i) допустимая токовая перегрузка;

j) потенциал шага и прикосновения.

6.9.5.3 *Основные* условия испытаний

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) *Основные* наладочные испытания заземляющих электродов должны быть завершены, включая измерение потенциала конструкция — грунт, токов в конструкции, потенциала земли, удельного сопро-

тивления грунта, потенциала между конструкцией и удаленным электродом и уровня электромагнитных помех.

b) Должны быть организованы места для измерения характеристик катодной защиты и паразитных токов.

c) Следует предусмотреть координацию между всеми заинтересованными сторонами, например операторами железных дорог, телефонными компаниями, муниципальными органами, операторами подземных инженерных сооружений, поставщиками заземляющих электродов и поставщиком системы ПТВН.

d) Следует организовать центр для координации испытаний и определить методы коммуникации.

e) Должны быть подготовлены испытательная контрольно-измерительная аппаратура и система сбора данных.

6.9.5.4 Порядок испытаний

Испытания

Испытания системы ПТВН при вводе в эксплуатацию заземляющих электродов можно условно разделить на следующие категории.

a) Испытания малыми токами.

Для проверки основных характеристик заземляющего электрода и влияния помех используется постоянный ток силой от 10 % до 20 % от номинального.

b) Испытания полным номинальным током.

Силу постоянного тока поэтапно повышают от уровня при испытаниях малыми токами до полного номинального тока. В программе испытаний должны быть определены длительность каждого этапа и величина постоянного тока на каждом этапе.

Аппаратура

Регистрирующая аппаратура должна быть установлена во всех контрольных точках, которые определяют при проведении испытаний малыми токами. Длительность этапа испытаний при каждом уровне постоянного тока должна соответствовать тепловой постоянной времени, а также достаточной для проведения измерений следующих параметров и характеристик во время испытания:

a) амплитуда паразитных токов, вызванных протеканием испытательного тока в конструкциях;

b) изменения паразитных токов вследствие протекания испытательного тока в конструкциях;

c) изменение потенциала вследствие протекания испытательного тока от конструкции к грунту;

d) распределение тока в канавках или секциях заземляющего электрода;

e) повышение температуры в зависимости от времени испытаний для определения пределов для испытания полным током;

f) наведенное напряжение в контурах связи;

g) паразитные токи в нейтралях трансформаторов системы переменного тока.

Потенциал конструкция — грунт измеряют при расположении опорного электрода непосредственно над заглубленными конструкциями или на расстоянии в пределах одного фута от наземных конструкций, например железных дорог или опор.

6.9.5.5 Критерии приемлемости результатов испытаний

Критерии приемлемости результатов испытаний приведены ниже.

a) Характеристики заземляющих электродов должны находиться в заданных расчетных пределах, включая повышение температуры, распределение напряжения, сопротивление и равномерность распределения тока по канавкам или секциям заземляющих электродов.

b) Результаты испытаний анализируют, а все полученные отклонения исследуют и подвергают разбору с участием заинтересованных сторон. Проблемы, связанные с «конструкцией электродной станции» или с «местом расположения электродной станции», анализируют отдельно.

7 Опытная эксплуатация

7.1 Общие положения

Опытная эксплуатация подразумевает эксплуатацию системы ПТВН совместно с примыкающими системами переменного тока в течение длительного времени. Работа систем должна производиться в максимально приближенных к реальным условиям.

Временной период определяется специфическим временем, необходимым для точного наблюдения за системой ПТВН и всеми ее компонентами.

Система ПТВН должна находиться под управлением персонала эксплуатирующей организации, что позволяет провести дополнительное обучение персонала, в частности, при проведении анализа неисправностей и определении эксплуатационных характеристик системы.

7.2 Цель испытаний

Опытная эксплуатация предназначена для подтверждения эксплуатационных характеристик и готовности системы ПТВН во время заданного периода эксплуатации в реальных, но точно определенных условиях.

7.3 *Основные* условия испытаний

Ниже приведены *основные* условия испытаний.

a) Все оборудование должно быть готово к работе.

b) Должны быть завершены испытания всех систем передачи электроэнергии.

c) Операторы должны иметь надлежащую подготовку для управления системой.

d) Должны быть согласованы графики перетока мощности между системами переменного тока.

e) Параметры конфигурации системы переменного тока должны находиться в заданных пределах.

f) Должны быть определены конфигурации и параметры примыкающих систем переменного тока.

g) Необходимо предусмотреть достаточное количество регистрирующих устройств на подстанции для целей мониторинга и регистрации. Может быть установлено дополнительное регистрирующее оборудование для сбора данных и проверки проектных расчетов.

7.4 Порядок испытаний

7.4.1 Во время опытной эксплуатации систему ПТВН следует использовать таким образом, как это предусмотрено проектом и условиями применения, установленными эксплуатирующей организацией.

7.4.2 Как правило, опытную эксплуатацию проводят в течение 1—4 недель. Во время этого периода персонал эксплуатирующей организации должен осуществлять управление, а помощь со стороны разработчика должна быть ограничена.

7.4.3 В ходе опытной эксплуатации выполняют точное наблюдение за функционированием системы ПТВН и всеми ее компонентами.

Любые отклонения, нештатные реакции или события, которые оказывают влияние на готовность системы, должны быть тщательно проанализированы для выявления причины.

7.4.4 Если создание системы ПТВН осуществляют поэтапно, то и опытную эксплуатацию проводят поэтапно.

7.4.5 Те испытания, которые не оказывают влияния на эксплуатационные свойства и безопасность системы ПТВН (например, испытания на помехи в радиодиапазоне и прочие), могут проводиться во время или после опытной эксплуатации при условии взаимного согласования.

7.5 Критерии приемлемости результатов испытаний

Критерии приемлемости результатов испытаний приведены ниже.

a) В ходе опытной эксплуатации не допускается аварийных отключений или нарушения работы оборудования системы ПТВН.

b) Если в ходе опытной эксплуатации возникает необходимость внесения модификаций или корректировок оборудования, то следует предпринять соответствующие действия. В зависимости от типа модификаций или корректировок может потребоваться повторение/продление сроков опытной эксплуатации полностью или в определенной части.

c) Критерии для повтора части или всей опытной эксплуатации должны быть согласованы перед началом опытной эксплуатации.

8 План испытаний систем постоянного тока высокого напряжения и документация

8.1 Общие положения

Для проведения испытаний системы ПТВН необходима следующая документация:

a) документация на оборудование и руководства по эксплуатации;

b) отчеты по результатам анализа системы и технические условия;
c) планы проверок и испытаний;
d) программа испытаний системы ПТВН;
e) процедуры испытаний для каждого испытания;
f) отчеты по результатам испытаний системы ПТВН;
g) отчеты о нарушениях работы оборудования.

8.2 Документация на оборудование и руководства по эксплуатации

Должны быть подготовлены следующие документы и руководства по эксплуатации.

a) Документация, содержащая актуальную информацию в достаточном объеме на все установленное оборудование и его функции, места установки.

b) Должны быть предоставлены уточненные параметры оборудования системы управления и защиты, включая систему сбора данных.

c) Руководства по эксплуатации должны предоставлять в достаточном объеме рекомендации по обучению операторов для исполнения всех коммутирующих и управляющих операций во всех условиях эксплуатации.

d) Руководства по эксплуатации должны содержать рекомендации по выбору уставок систем защиты, в том числе по согласованию с уставками резервных защит, установленных в примыкающей сети переменного тока.

Примечание — Дополнено с целью учета особенностей терминологии и порядка проведения испытаний систем постоянного тока высокого напряжения, применяемых в Российской Федерации.

8.3 Отчеты по результатам анализа системы и технические условия

Отчеты по результатам анализа системы должны содержать информацию, необходимую для работы системы ПТВН вместе с примыкающими системами переменного тока в установленных пределах. Примеры отчетов по результатам анализа конкретной системы, которые необходимы для этих целей:

a) взаимодействие систем переменного тока/постоянного тока;
b) управление реактивной мощностью;
c) координация работы систем защиты;
d) координация работы систем управления, изменение конфигурации системы и коммутации.

8.4 План проверок и испытаний

План проверок и испытаний вместе с программой испытаний системы образует план испытаний системы ПТВН.

Настоящий стандарт структурирован в логической последовательности и предоставляет исходную информацию для применения в любых специфических проектах систем ПТВН.

Каждый план поверок и испытаний должен содержать следующие пункты в зависимости от конкретной ситуации и по аналогии с настоящим стандартом:

a) конкретная цель каждого испытания;
b) порядок испытания (ссылка на стандартные методики);
c) критерии приемлемости результатов испытаний;
d) *основные* условия испытаний;
e) ссылки на системный анализ;
f) ссылки на заводские испытания;
g) особые условия.

Все подлежащие выполнению испытания и тесты обозначают уникальными номерами. Эти номера также используются в качестве ссылок на все стандартные методики испытаний и в документации, подготовленной по результатам инспекций и испытаний системы.

План проверок и испытаний также должен содержать все необходимые уровни нагрузки и изменения нагрузки, а также уровень эффективного отношения короткого замыкания (ЭОКЗ).

Процедуры каждого испытания должны быть полностью согласованы со всеми заинтересованными сторонами перед окончательным утверждением графика испытаний.

Все проверки и испытания систем должны быть заблаговременно согласованы между всеми заинтересованными сторонами для обеспечения достаточного количества времени для планирования. Также необходимо обсудить меры срочного реагирования в нештатных ситуациях.

8.5 Программа испытаний системы постоянного тока высокого напряжения

Программа устанавливает план-график проведения испытаний системы ПТВН. Также программа координирует требования между диспетчерскими службами и определяет следующие положения:

a) *основные* условия, включая параметры и конфигурации примыкающих систем переменного тока и графики генерации;

b) подлежащие выбору *основные* условия (места размещения устройств управления, режим управления, режим управления уровнем передачи электроэнергии);

c) начальные и окончательные параметры конфигурации системы ПТВН;

d) направление перетока энергии;

e) уровни мощности, длительность и скорости изменения.

В программе испытаний системы ПТВН должны быть определены состав испытательной группы и руководители для каждого отдельного испытания, для каждой преобразовательной подстанции, центра распределения нагрузки, задействованных подстанций или генерирующих станций, а также места проведения испытаний, где будут созданы отказы или короткие замыкания.

В графике испытаний должны быть предусмотрены надлежащие точки приостановки процесса для проверки состояния систем защиты, вспомогательных устройств и системы пожарной безопасности.

Непосредственно перед проведением испытаний необходимо получить окончательное разрешение от органов управления.

При планировании длительности испытаний необходимо предусмотреть достаточный запас времени на случай возникновения непредвиденных обстоятельств. Так как испытания системы ПТВН могут с большой долей вероятности привести к возникновению значительных возмущений в системе ПТВН и в подключенных системах переменного тока, не рекомендуется проводить такие испытания при пиковой нагрузке.

Также рекомендуется обеспечить в системах переменного тока достаточный запас по нагрузке на случай полного сброса нагрузки в системе ПТВН.

В случае планирования испытаний с имитируемыми короткими замыканиями следует принять достаточные меры предосторожности и обеспечить поддержку квалифицированного персонала, в том числе провести анализ для изучения влияния коротких замыканий на систему переменного тока.

8.6 Процедуры испытаний для каждого испытания

В процедурах испытаний приведены инструкции для каждого отдельного испытания, которые подлежат исполнению испытательной группой.

Определены *основные* условия и даны ссылки на результаты анализа системы, технические условия или результаты испытаний вне *объекта ПТВН*.

Объекты испытаний, процедуры и критерии приемки определяют фактические результаты для каждого отдельного испытания.

В процедуре испытаний также перечислены подлежащее использованию испытательное оборудование и необходимые измерения, а также точные места проведения измерений. Для создания перекрестных ссылок на документацию, содержащую результаты испытаний системы ПТВН, необходимо использовать систему нумерации. Та же система нумерации должна применяться в испытательных процедурах и планах инспекций и испытаний.

Процедуры испытания могут представлять собой отдельный протокол, специально подготовленный для проекта, или множество типовых описаний испытаний, составленных для проекта. В случае использования типовых описаний испытаний из них формируется единый комплект с указателем.

8.7 Документирование результатов испытаний системы постоянного тока высокого напряжения

8.7.1 Протоколы ввода в эксплуатацию

В состав документации по результатам испытаний системы ПТВН включают протокол ввода в эксплуатацию с описанием результатов каждой серии испытаний, в том числе результаты испытаний,

записи сбора данных и данные, полученные от установленных на станции регистраторов, распечатки с регистраторов последовательности событий, распечатки аварийных сигналов и прочие специальные результаты.

8.7.2 Отчеты об отказах

Неудовлетворительные результаты испытаний заносят в отчет об отказах, в котором указывают номер испытания, описание и причину отрицательного результата. После устранения проблемы изготовитель должен кратко описать сделанные изменения в том же отчете об отказах и подтвердить, что система готова к проведению повторных испытаний. Все изменения необходимо официально регистрировать в соответствии с установленными процедурами обеспечения качества во всех соответствующих частях документации.

8.7.3 Отчеты об отклонениях

Отчет об отклонениях является частью протокола ввода в эксплуатацию и содержит подробное описание изменений и ссылки на конкретные испытания и результаты испытаний.

В отчет об отклонениях вносят подробное описание изменения. Для отслеживания статуса неудовлетворительных испытаний следует вести базу данных, в которой указывают статус каждого испытания (новое, внесены изменения, повторное испытание, пройдено, повторно не пройдено).

Необходимо вести учет отключений оборудования, неправильного функционирования и результатов диагностических испытаний, относящихся к процедуре ввода в эксплуатацию.

В отчет включают описание сделанных изменений для их учета в дальнейшем.

Все происшествия в ходе испытаний должны быть отмечены испытательной группой перед подачей отчета по вводу в эксплуатацию.

Все результаты испытаний системы ПТВН должны быть четко пронумерованы и иметь ссылки на индивидуальные испытания.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных национальных и межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного национального, межгосударственного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование ссылочного международного стандарта
ГОСТ IEC 61000-4-3—2016	IDT	IEC 61000-4-3:2010 «Электромагнитная совместимость. Часть 4-3. Методики испытаний и измерений. Испытание на устойчивость к излучаемому радиочастотному электромагнитному полю»
ГОСТ ISO 9612—2016	IDT	ISO 9612:2009 «Акустика. Определение воздействия шума в производственных условиях. Технический метод»
ГОСТ Р 55193—2012 (МЭК 60060-2:2010)	MOD	IEC 60060-2:2010 «Методы испытаний высоким напряжением. Часть 2. Измерительные системы»
ГОСТ Р 59027—2020 (МЭК 60633:2019)	MOD	IEC 60633:2019 «Передача электроэнергии постоянным током высокого напряжения (HVDC). Словарь»

Примечание — В настоящей таблице использованы следующие условные обозначения степени соответствия стандартов:
- IDT — идентичные стандарты;
- MOD — модифицированные стандарты.

Приложение ДБ
(справочное)

Положения МЭК 61975:2016, которые применены в настоящем стандарте с модификацией их содержания

При оформлении настоящего стандарта, модифицированного по отношению к международному стандарту МЭК 61975:2016 «Системы постоянного тока высокого напряжения (ПТВН). Системные испытания», некоторые терминологические статьи приведены в иной редакции с целью учета особенностей терминологии и порядка проведения испытаний систем постоянного тока высокого напряжения, применяемых в Российской Федерации. Исходные терминологические статьи приведены ниже.

ДБ.1

3.1.1 **испытания преобразовательной станции:** Испытания преобразовательной станции, включая испытания, предназначенные для проверки функционирования отдельных единиц оборудования преобразовательной станции под напряжением.

3.1.2 **системные испытания:** Испытания, предназначенные для проверки функционирования и рабочих характеристик системы ПТВН в целом, а также проверки взаимодействия с сопряженными системами переменного тока.

3.1.3 **испытания на передачу электроэнергии:** Испытания, предназначенные для проверки функционирования и рабочих характеристик системы ПТВН при передаче энергии между обоими терминалами.

Примечание — Эти испытания также именуются «сквозными испытаниями».

3.1.4 **испытания на месте установки:** Испытания, проводимые на конечной строительной площадке; включают в себя испытания преобразовательной станции и испытания на передачу электроэнергии.

ДБ.2

6.5.2.1 Общие положения

Испытания проводятся в зависимости от различных режимов управления системы ПТВН.

Существуют различные режимы эксплуатации для каждого терминала системы ПТВН. Наиболее распространенные режимы:

- управление для поддержания заданного значения тока;
- управление для поддержания постоянного минимального угла погасания;
- управление для поддержания постоянного напряжения постоянного тока;
- контроль отклонений силы тока;
- управление для поддержания постоянной мощности.

Некоторые из этих режимов управления действительны только при работе в качестве выпрямителя или инвертора.

Учитывая большое число возможных устройств управления системы ПТВН, представляется сложным предусмотреть одно испытание для соответствия всем возможным сценариям управления. В настоящем пункте описаны испытания для наиболее распространенных контуров управления.

В случае работы выпрямителя в режиме управления для поддержания тока одинаковой величины и работы инвертора в режиме управления для поддержания постоянного минимального угла погасания необходимо оптимизировать следующие контроллеры:

a) контроллер тока выпрямителя;
b) контроллер угла погасания инвертора;
c) контроллер тока инвертора (управление допустимыми пределами по току);
d) контроллер угла погасания выпрямителя;
e) контроллер поддержания постоянной мощности;
f) ограничитель тока в зависимости от напряжения (VDCOL)».

ДБ.3

6.8.3.1 Общие положения

При работе системы передачи электроэнергии ПТВН происходит потребление реактивной мощности и возникают гармонические колебания тока и напряжения. Предназначенные для компенсации реактивной мощности элементы (фильтры переменного и постоянного тока, шунтирующие реакторы, сглаживающие реакторы постоянного тока) специально разработаны для исключения влияния системы передачи электроэнергии на подключенные системы переменного тока. Некоторые функции управления рассматриваются в пунктах 6.2.4 и 6.4.3. При проведении других испытаний могут использоваться некоторые собранные данные, и также могут быть проверены некоторые функции, как, например, фильтр абсолютного минимума, фильтр минимума и функция автоматического разряда, в сочетании с проведенными ранее испытаниями.

Приложение ДВ
(справочное)

Положения МЭК 61975:2016, которые не включены в основную часть настоящего стандарта

При оформлении настоящего стандарта, модифицированного по отношению к международному стандарту МЭК 61975:2016 «Системы постоянного тока высокого напряжения (ПТВН). Системные испытания», некоторые положения исходного стандарта МЭК 61975:2016 не включены в основную часть модифицированного стандарта с целью учета терминологии и порядка проведения испытаний систем постоянного тока высокого напряжения, применяемых в Российской Федерации. Невключенные терминологические статьи приведены ниже.

ДВ.1 Примечание к 5.7.3.2: Ввиду избыточного тока утечки в линии постоянного тока может оказаться невозможным повышение напряжения постоянного тока до номинального.

ДВ.2 6.5.2.1 Общие положения

d) регулятор угла погасания выпрямителя.

ДВ.3 6.5.2.5 Контроллер угла погасания выпрямителя

Для обеспечения точной настройки угла погасания контроллера на выпрямителе можно рассмотреть две ситуации.

a) Система передачи электроэнергии, в которой направление передачи мощности всегда неизменно, а именно один терминал всегда является выпрямителем, а второй терминал всегда выполняет функции инвертора. Функции такого контроллера всегда будут ограничены ситуацией, когда применяется принудительная задержка. Отклик контроллера проверяют во время применения принудительной задержки.

b) Система ПТВН, в которой направление передачи мощности изменяется, при этом оптимизация контроллера на втором терминале должна производиться во время передачи электроэнергии в обратном направлении.

Библиография

[1] Постановление Правительства Российской Федерации от 13 августа 2018 г. № 937 «Об утверждении Правил технологического функционирования электроэнергетических систем и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации»

[2] МЭК 60919-2:2008 Системы постоянного тока высокого напряжения (HVDC) с преобразователями с линейной коммутацией. Рабочие характеристики. Часть 2. Отказы и переключения [Performance of high-voltage direct current (HVDC) systems with line-commutated converters — Part 2: Faults and switching]

УДК 621.314:006.354 ОКС 29.240.01

Ключевые слова: передача постоянного тока высокого напряжения, преобразовательное устройство, вентиль, преобразовательный трансформатор, режим выпрямителя, режим инвертора, система управления, испытания системы ПТВН, приемо-сдаточные испытания, режим управления

Редактор *Н.В. Верховина*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Л.С. Лысенко*
Компьютерная верстка *Л.А. Круговой*

Сдано в набор 26.11.2020 Подписано в печать 15.12.2020. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 8,37. Уч.-изд. л. 7,57.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов, 117418 Москва, Нахимовский пр-т, д 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru