И.Н.Перов
Главный инженер ООО «Комменж»
Д.Е.Терентьев
Технический директор ООО «Комменж»

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТЫ ОТ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ В ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

Применение устройств защиты от импульсных перенапряжений обязательно для обеспечения надёжной работы фотоэлектрических установок. Принципиально защита от перенапряжения солнечных батарей, инверторов, контроллеров и других элементов фотоэлектрических систем не отличается от аналогичных мероприятий для другого оборудования ЭПУ, однако имеет свои особенности, которые необходимо учитывать.

В докладе рассматриваются эти особенности, нормативная база, а также специализированные устройства защиты фотоэлектрических систем от импульсных помех.

Введение

Из десяти самых мощных в мире солнечных электростанций (СЭС) шесть находятся в США, три в Китае и одна в Крыму. Самая мощная в мире достроенная солнечная электростанция Topaz Solar Farm (штат Калифорния, США) имеет установленную мощность 550 МВт, годовую выработку более 1000 гигаватт-час и обеспечивает электроэнергией свыше 160 000 домов и промышленных предприятий [1].

Ведущей страной в развитии солнечной энергетики как технологически и экономически, так и в сфере законодательства и нормативно-технической базы является Германия (четверть мировой генерации). Исторически сложилось так, что российская электротехника ориентируется

commeng
www.commeng.ru, www.commeng.net
УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ДЛЯ ЭПУ
ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ ЗАЗЕМЛЕНИЯ.
COMMENG, САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

преимущественно на немецкие научно-технические достижения. Учитывая близость инженерных школ и тесные связи между нашими странами, изучение опыта Германии мы считаем для себя приоритетным. Поэтому информация из немецких источников будет рассмотрена далее в отдельном разделе доклада.

Несмотря на то, что в сфере солнечной энергетики Россия отстает от большинства развитых стран, эта отрасль экономики страны развивается на всех уровнях – от государственных программам развития энергетики до фотоэлектрических систем, установленных частными лицами в своих домах и на дачах.

При отсутствии статистики по всем отраслям экономики, тенденция к развитию становится понятна по данным о СЭС, вырабатывающих электроэнергию для поставки потребителям [1]:

– суммарная установленная электрическая мощность солнечных электростанций ЕЭС России на 1 января 2017 года составляет 75,2 МВт или всего 0,03 % от установленной мощности электростанций энергосистемы;

– суммарная установленная мощность СЭС Крымской энергосистемы составляет порядка 220 МВт;

– в 2017-2020 годах в РФ планируется ввести в строй порядка 60 СЭС с суммарной установленной мощностью более 1 ГВт.

Несмотря на впечатляющий рост в процентном отношении, нам еще далеко до занимающей 10 место в списке производителей солнечной электроэнергии Бельгии - установленная мощность 2,8 ГВт, доля в общемировой генерации 2% (на 2014 год).

В большинстве случаев стоимость энергии СЭС многократно выше, чем от традиционных источников энергии. В странах ЕС государство дотирует производство ветровой и солнечной электроэнергии. Сокращение государственных дотаций (как, например, в Германии) приводит к значительному снижению ввода в эксплуатацию новых мощностей. В России с ее гидро- и ископаемыми энергетическим ресурсами и относительно невысоким, в большинстве регионов, уровнем солнечной радиации, вряд ли стоит в обозримом будущем ожидать достижения уровня альтернатив-

commeng
www.commeng.ru, www.commeng.net
УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ДЛЯ ЭПУ
ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ ЗАЗЕМЛЕНИЯ.
COMMENG, САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

ной энергетики как у западноевропейских стран чисто по экономическим причинам.

Однако для ряда применений, например, для объектов, не имеющих централизованного энергоснабжения, применение СЭС (и ветроэлектростанций) в комплексе с дизель-генераторами экономически оправдано.

На конференции СПРЭС-2014 этой теме было посвящено несколько докладов. В различных регионах страны, в том числе на Кольском полуострове, находятся в эксплуатации гибридные системы электропитания с использованием фотоэлектрических преобразователей [2,3]. Потенциальными объектами внедрения для гибридных систем являются удаленные базовые станции со значительными проблемами в централизованном энергоснабжении или же его полным отсутствием [4].

Для эффективного применения фотоэлектрических установок (ФЭУ) на различных объектах специалисты, которые занимаются их проектированием, монтажом и эксплуатацией должны накопить определенный объем знаний и опыта.

ООО «КОММЕНЖ» начиная с 2013 года производит специализированные УЗИП для фотоэлектрических систем. В ходе работы нам пришлось разобраться со спецификой ФЭС, как объекта воздействия электромагнитных влияний.

Так как общие принципы применения УЗИП знакомы специалистам по электроустанов-кам, то в докладе рассматриваются особенности их применения в ФЭУ и специализированные устройства на примере УЗИП типа УЗФЭС.

1. Нормативная база.

Защита от молнии, в том числе и применение УЗИП в фотоэлектрических установках основывается на зоновой концепции молниезащиты МЭК. Параметры и методы испытаний всех типов УЗИП для всех типов низковольтных электроустановок, в том числе и для фотоэлектрических, описаны в [5].

Специфика применения УЗИП в ФЭУ отражена в различных международных стандартах IEC, EN и национальных (VDE), которые периодически обновляются, например [6,7].

commeng
www.commeng.ru, www.commeng.net
УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ДЛЯ ЭПУ
ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ ЗАЗЕМЛЕНИЯ.
COMMENG, САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

В действующих в России нормативах на фотоэлектрические установки [8-14] предъявляются требования к обязательной защите от перенапряжений, но соответствующий раздел в лучшем случае занимает несколько строчек, которые, в свою очередь, отсылают к стандартам на низковольтные электроустановки.

2. Опыт Германии

Экономика и статистика солнечной энергетики не имеет прямого отношения к теме данного доклада, но в ходе его подготовки были, были прочитаны с очень большим интересом два документа [15,16] и которые служат еще одним подтверждением, что, конечно, опыт Германии в применении возобновляемых источников энергии мы копировать не можем, но использовать его в технической области, насколько возможно, просто необходимо. Хотим поделиться с участниками конференции некоторыми фактами. Ряд статистических данных на 2016 год приведен в таблице 1.

Таблица 1. Данные по солнечной энергетике в Германии на конец 2016 года

Установленная мощность введенных в 2016г. в эксплуатацию установок	1,53 ГВт
Количество введенных в 2016г. в эксплуатацию установок	52000
Установленная мощность фотоэлектрических установок на конец 2016	41,2 ГВт
Общее количество фотоэлектрических установок на конец 2016	1,58 млн
Доля в производстве электроэнергии 2016/2020 – прогноз	6,5% / 8-10%
Количество находящихся в эксплуатации на конец 2016 хранилищ электроэнергии фотоэлектрических установок	Более 50000
Необходимо дополнительно ввести в эксплуатацию хранилищ электроэнергии фотоэлектрических установок (оценка)	24500
Количество рабочих мест, обеспечиваемых за счет технологий фотовольтаики	31600
Доля экспорта в индустрии фотовольтаики 2004/2015/2020	14% / 70% / 80%

В Германии 90% всех панелей расположены на крышах домов и половина солнечных электростанций принадлежит частным лицам, а не генерирующим компаниям. Начиная с 2013 года рост вводимых мощностей солнечных электроустановок резко снизился, что связано с сокращением государственных дотаций производителям солнечной электро-энергии.

commeng
www.commeng.ru, www.commeng.net
УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ДЛЯ ЭПУ
ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ ЗАЗЕМЛЕНИЯ.
COMMENG, САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

Как видно из приведенных данных, производители оборудования фотовольтаики переориентировались на экспорт.

В настоящее время основное внимание уделяется развитию инфраструктуры для хранения энергии солнечных и ветроэлектростанций, что необходимо для их эффектив-ного использования. В небольших установках, домашних и предприятий используются аккумуляторы. Планируется строительство крупных установок для хранения энергии, в которых будут использоваться потерявшие часть емкости и снятые с электромобилей

литий-ионные аккумуляторы. Проводятся так же исследования по использованию в качестве накопителя энергии сжатого воздуха и водорода, полученного в процессе электролиза воды и который можно использовать в водородных топливных элементах.

В качестве централизованных хранилищ электроэнергии в Германии используются в настоящее время только гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС), которые требуют чрезвычайно высоких капитальных вложений, перепада высот в месте установки, имеют низкий КПД и оказывают значительное влияние на экологию.

Разрабатывается проект по размещению ГАЭС для хранения энергии солнечных и ветроустановок в угольных шахтах. Предполагается использовать одну из шахт в Рурской области после ее закрытия в 2018 году. Энергохранилище сможет обеспечивать энергией 450 тысяч домохозяйств. Стоимость строительства оценивается от 250 до 400 тысяч Евро, срок строительства 5 лет.

Германия планирует отказаться от угольной энергетики, и строительство ГАЭС в шахтах даст новый толчок применению зеленых технологий в энергетике и поможет создать новые рабочие места после закрытия шахт.

Ниже приводятся некоторые моменты применения УЗИП для защиты фотоэлектрических установок, которые не являются чисто техническими, а относятся, скорее к сложившейся в Германии практике и соответствуют действующей там нормативной базе.

В источниках [17,18] рассматриваются не крупные электростанции, а небольшие установки, размещенные на поверхностях и крышах зданий и

commeng
www.commeng.ru, www.commeng.net
УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ДЛЯ ЭПУ
ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ ЗАЗЕМЛЕНИЯ.
COMMENG, САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

сооружений а так же на прилегающих к ним участках. Разделим информацию на несколько групп.

Немецкая специфика

Защита от перенапряжений требуется для всех электроустановок, которые используются в хозяйственных целях или инфраструктуре. Электроустановки должны быть оборудованы защитными устройствами класса 2 и 3. Если объект имеет систему молниезащиты, то дополнительно устанавливаются устройства типа 1.

Если произведенная солнечная электроэнергия продается, то требования действующих стандартов по молниезащите и защите от перенапряжений распространяются на весь объект, где установлена фотоэлектрическая система (даже если это частный дом).

Очевидные вещи, о которых мы постоянно говорим заказчикам и проектировщикам, но слышат нас не всегда.

В том случае, если фотоэлектрическая система связана с сетью переменного тока она должна быть защищена с помощью УЗИП со стороны переменного тока. В том случае, если фотоэлектрическая система подключена к системе контроля и управления (модем, персональный компьютер) то эти интерфейсы тоже должны быть защищены.

При выборе параметров УЗИП и схемы защиты обязательна необходимо учитывать стойкость оборудования к воздействию импульсных перенапряжений (максимально допустимое импульсные перенапряжения по данным производителя).

На объектах без системы молниезащиты, в которых не принимается во внимание вероятность удара молнии в здание/сооружение, для защиты как по переменному, так и по постоянному току могут использоваться УЗИП типа 2.

Об этом мы говорим в сослагательном наклонении – хорошо бы сделать так...

Если кабель между местом установки УЗИП и солнечной батареей длиннее, чем 10 м, то солнечные модули так же должны быть защищены УЗИП типа 2. Если длина кабеля от вводного щита до инвертора длиннее,

commeng
www.commeng.ru, www.commeng.net
УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ДЛЯ ЭПУ
ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ ЗАЗЕМЛЕНИЯ.
COMMENG, САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

чем 10 м., то необходимо включить УЗИП класса 2 перед инвертором. По действующим требованиям необходимо так же установить УЗИП класса 2 в главном/ распределительном щите.

Ordnung muss sein («должен быть порядок» - немецкая пословица)

Если объект имеет молниезащитные устройства, то принципиально необходима установка УЗИП класса 1 на вводе электропитания. Если длина проводников между инвертором фотоэлектрической системы и ГРЩ более 10 м, то перед инвертором со стороны переменного тока устанавливается УЗИП класса 2, так же как и со стороны постоянного тока. Случай, когда это расстояние не может быть установлено, при планировании не возможен. Если это встречается как исключение и правила, то УЗИП 1 класса устанавливаются до и после инвертора, а так же перед фотоэлектрическими модулями.

3. Особенности применения УЗИП в фотоэлектрических системах

Основная особенность фотоэлектрической установки в том, что она представляет собой законченную систему, в которой реализуется полный цикл от производства, преобразования, передачи, распределения до потребления электроэнергии и преобразования в другие виды энергии.

Все элементы ФЭ установки располагаются в достаточной близости друг от друга. При такой компоновке необходимо выстраивать полную схему защиту от импульсных помех, учитывая расстояния и соединения между солнечными батареями, инвертором, контроллером и элементами системы. Если не выполнена или выполнена неправильно защита одного из элементов системы, то результатом может стать повреждение другого оборудования.

Следующая особенность заключается в том, что фотоэлектрические установки, применяемые на объектах, как правило, имеют гибридное исполнение и сопрягаются с одной или группой дополнительных питающих установок таких как ветрогенератор, дизель-генератор, аккумуляторная батарея, централизованная сеть и др.

commeng
www.commeng.ru, www.commeng.net
УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ДЛЯ ЭПУ
ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ ЗАЗЕМЛЕНИЯ.
COMMENG, САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

Такая совокупность соединённых в единую сеть установок требует дополнительно предусмотреть защиту от импульсных помех в местах соединения, с учётом специфики каждой из систем.

Еще одна особенность фотоэлектрической установки связана с режимами ее работы.

Так как ФЭ установка предполагает режим холостого хода, когда отсутствует всякая нагрузка на солнечную батарею, а поток солнечного света максимален, то напряжение при таком режиме Vxx отличается от напряжения при номинальной мощности Vн примерно на 20%. Таким образом, максимально длительное рабочее напряжение УЗИП необходимо выбирать в соответствии со значением напряжения холостого хода Vxx солнечной батареи, а не напряжения при номинальной мощности Vн.

Выбор класса испытания УЗИП для элементов ФЭУ зависит от наличия или отсутствия внешней системы молниеприемников. Если молниеприемник защищает элементы ФЭУ от прямого удара молнии, то целесообразно и достаточно применения УЗИП II класса испытания. Если внешняя защита отсутствует и возникает опасность прямого удара молнии в корпус солнечной модуля, питающий кабель или в здание, в котором находятся элементы ФЭУ, то для большей надёжности необходимо использовать УЗИП I+II класса испытания.

4. Особенности устройства защиты фотоэлектрических систем серии УЗФЭС производства COMMENG

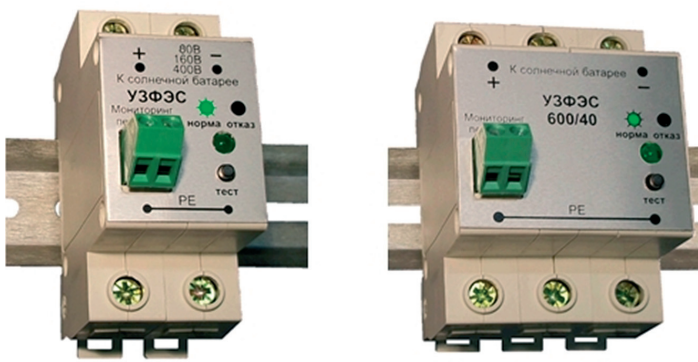

Рис. 1. Внешний вид устройств серии УЗФЭС

Линейка УЗФЭС включает в себя специализированные УЗИП классов III, II+III, II, I+II, выполненные на базе варисторов, и имеющие максимальные длительные рабочие напряжения 75,150,300,420,600 и 800 Вольт и максимальными разрядными токами 10, 15, 40, 80 и 120 кА. Устройства УЗФЭС (рис. 1) являются УЗИП ограничивающего типа I -III класса испытаний и соответствуют требованиям стандарта [5]. Подробное техническое описание УЗФЭС можно скачать с нашего сайта [19].

4.1. При разработке УЗФЭС были поставлены и решены следующие задачи:

1) Максимальная надёжность и сохранение работоспособности даже в том случае если будут допущены ошибки при проектировании и проведении монтажа;

2) Номенклатура должна обеспечивать применение в фотоэлектрических установках с различной мощностью и рабочим напряжением, при этом количество разновидностей устройств должно быть ограничено;

3) Соответствовать по эффективности обеспечения защиты от импульсных помех лучшим ведущим производителям в этом области.

Повышение надёжности устройств УЗФЭС реализуется за счет:

- использования сборки варистор-тепловой разъединитель, размещенной в одном корпусе и залитой негорючим компаундом, что повышает пожаробезопасность и надёжность при перевозке, хранении и эксплуатации;

– отказа от механических частей в работе теплового разъединителя и системы контроля, что повышает надёжность срабатывания и исключает ложные срабатывания;

– применения термопредохранителей, которые выполняют не только функцию тепловых разъединителей, но и предохранителей, защищающих от короткого замыкания в УЗФЭС;

- использования двух независимых схем контроля состояния: светодиодного индикатора состояния (контролирует безобрывность цепи подключения варистора) и дистанционная сигнализации перегрева варистора;

Такие особенности конструкции неизбежно привели к увеличению габаритов и массы устройств УЗФЭС, однако, по нашему мнению, это совсем невысокая плата за увеличение надежности работы.

commeng
www.commeng.ru, www.commeng.net
УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ДЛЯ ЭПУ
ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ ЗАЗЕМЛЕНИЯ.
COMMENG, САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

4.2 Реализация Y-схемы подключения с помощью устройства УЗФЭС-Д

Так называемая Y-схема включения УЗИП (рис.2) широко применяется для защиты подключения цепей солнечных батарей и имеет ряд преимуществ:

– обеспечивает защиту не только от синфазных, но и дифференциальных помех;

– сохраняет работоспособность и предотвращает утечку тока, если у одного из трех варисторов (блоков варисторов) снизилось квалификационное напряжение.

Y-схема реализована в УЗФЭС класса III (функциональная схема на рис.2а).

Оригинальным решением, примененным COMMENG, является использование для реализации Y-схемы устройства УЗФЭС-Д (УЗФЭС дополнительное), которое подключается к клемме PE УЗФЭС классов II-III (функциональная схема на рис.2б).

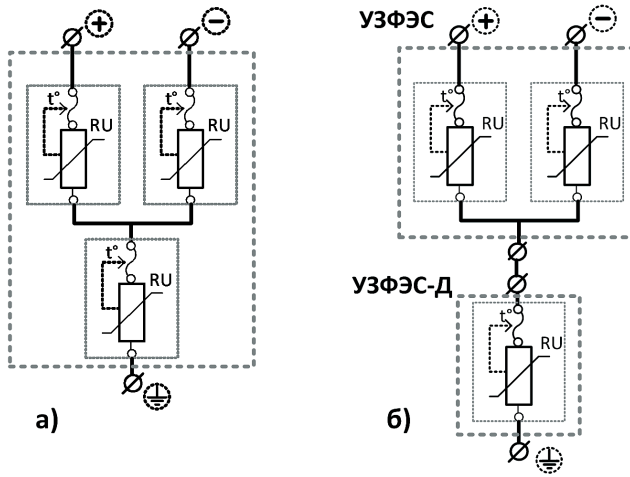

Рис. 2. Реализация Y-схемы.
а) Функциональная схема УЗФЭС класса III; б) УЗФЭС класса II или I+II подключено к защитному заземлению через УЗФЭС-Д

УЗФЭС-Д выпускается на максимальные длительные рабочие напряжения 75, 150, 300, 420 и 600 В. Максимальные разрядные токи составляют 15, 40, 80 и 120 кА. Комбинируя УЗФЭС и УЗФЭС-Д можно подобрать оптимальное сочетание максимально допустимого рабочего напряжения и уровней защиты в различных типах ФЭУ.

Класс испытаний и максимальный импульсный ток УЗФЭС-Д должен соответствовать или быть выше аналогичным характеристикам УЗФЭС, с которым используется УЗФЭС-Д.

5. Примеры типовых решений применения устройств УЗФЭС для защиты фотоэлектрических установок от перенапряжений.

Основной причиной перенапряжений в фотоэлектрических установках являются прямые удары молнии в здания/сооружения где они размещены или солнечные батареи, а так же наводки от ударов молнии. Защита фотоэлектрической установки со стороны сети переменного тока никаких особенностей не имеет. Следует не забывать только о правильном выполнении системы уравнивания потенциалов и подключения к ней УЗИП как по переменному току, так и по постоянному току.

Если не рассматривается вероятность удара молнии в объект, или же объект оборудован системой молниезашиты, то рекомендуется применять УЗФЭС II класса как для защиты батарей, так и для защиты оборудования, в ряде случаев могут дополнительно использоваться УЗФЭС класса III, или же только УЗФЭС класса III.

В том случае, если вероятен прямой удар молнии в какой-либо элемент ФЭУ (солнечную батарею, кабель) или рядом расположенные конструкции, следует использовать УЗИП класса I+II.

Ниже приведены примеры реализации схем защиты ФЭУ от перенапряжений с использованием УЗФЭС.

5.1. ФЭУ малой мощности (жилые дома, дополнительные источники питания объектов связи и инфраструктуры)

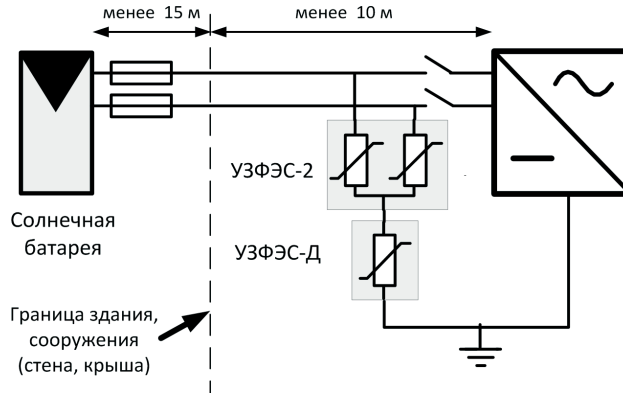

Рис. 3. Вероятность прямого удара молнии в объект не рассматривается или объект оборудован системой молниезащиты. Защищается только инвертор. Возможный вариант – батареи установлены на площадке

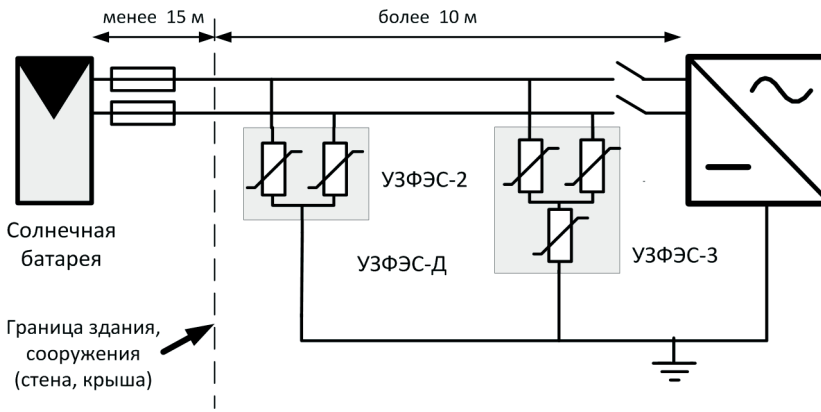

Рис. 4. Существует вероятность прямого удара молнии в объект, оборудованный системой молниезащиты. На вводе кабелей установлен для защиты от синфазных помех УЗФЭС класса II. Для защиты инвертора (контроллера), который удален от ввода, используется УЗФЭС класса 3. Защита солнечных батарей не предусмотрена

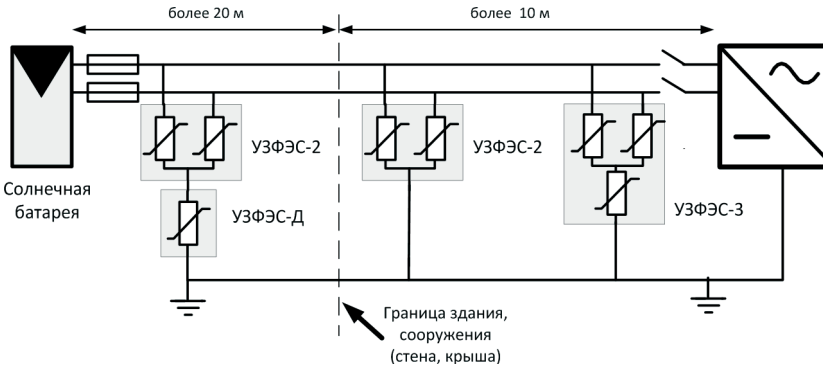

Рис. 5. Предусматривается защита солнечных батарей от синфазных и дифференциальных помех. Батареи установлены на крыше и экранированы от прямых ударов молнии или же установлены рядом со зданием. УЗФЭС установлены в коммутационном ящике, который находится рядом с группой солнечных модулей и подключается к вводному щиту постоянного тока

5.2 Пример использования устройств УЗФС–2 и УЗФЭС–Д в проекте солнечной электростанции на 400кВт

В настоящее время в одном из восточных регионов России реализуется проект по строительству СЭС мощностью 400кВт. Первый этап проекта предполагает монтаж и ввод в эксплуатацию оборудования с установленной мощностью 200кВт.

Для защиты элементов СЭС в проекте на 1 этап строительства предусмотрено использование устройства защиты от импульсных перенапряжений УЗФЭС-2 и УЗФЭС-Д.

Вероятность прямого удара молнии в батарею рассматривается как маловероятная. Используются УЗФЭС класса II. Их включение вместе с УЗФЭС=Д по Y-схеме обеспечивает защиту как от синфазных, так и от дифференциальных помех с минимально возможным уровнем амплитуды импульсной помехи на входе оборудования.

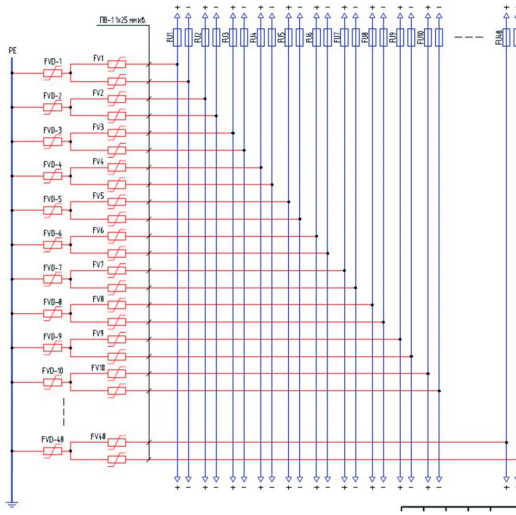

Рис. 6. Принципиальная схема вводного щита постоянного тока. Заводятся кабели от 48 групп солнечных модулей, каждый ввод защищается по Y-схеме, выполненной на УЗФЭС и УЗФЭС-Д, установленных после предохранителей

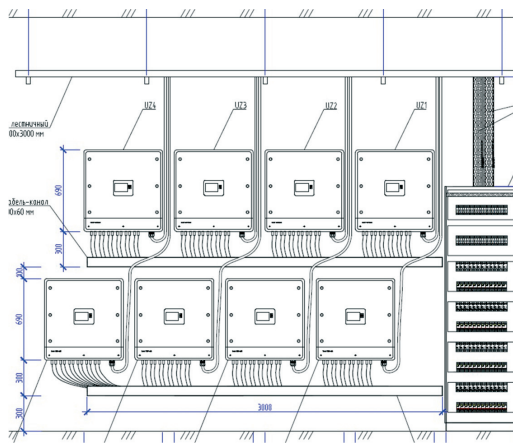

Рис. 7. Расположение вводного щита постоянного тока и инверторов в техническом помещении

Литература

1) https://ru.wikipedia.org
2) Гришин О.И. Проект «солнечной» установки мощностью 24 кВт производства ООО «ЭЛТЭК» на Кольском полуострове.Сборник трудов. СПРЭС 2014
3) Михайлин А.Б. Опыт разработки, мониторинга и эксплуатационного сопровождения гибридных электростанций на основе альтернативных источников энергии.Сборник трудов. СПРЭС 2014
4) Попов П.А. Гибридные системы электроснабжения. Препятствия и мотивы к внедрению. Сборник трудов. СПРЭС 2014
5) ГОСТ Р 51992-2011 (МЭК 61643-1:2005) Устройства защиты от импульсных перенапряжений низковольтные. Устройства защиты от импульсных перенапряжений в низковольтных силовых распределительных системах. Требования к работоспособности и методы испытаний
6) IEC 60364-7-712:2017 Low voltage electrical installations Part 7-712: Requirements for special installations or locatons Solar photovoltaic (PV) power supply systems.
7) VDE 0185-305-3 / DIN EN 62305-3 Teil 3: Blitz- und Ьberspannungsschutz fьr PV-Stromversorgungssysteme
8) ГОСТ Р 56124.7.1-2014 (IEC/TS 62257-7-1:2010) Возобновляемая энергетика. Гибридные электростанции на основе возобновляемых источников энергии, предназначенные для сельской электрификации. Рекомендации. Часть 7-1. Генераторы. Фотоэлектрические батареи
9) ГОСТ Р 56124.5-2014 (IEC/TS 62257-5:2005) Возобновляемая энергетика. Гибридные электростанции на основе возобновляемых источников энергии, предназначенные для сельской электрификации. Рекомендации. Часть 5. Электробезопасность
10) ГОСТ Р 51594-2000 Нетрадиционная энергетика. Солнечная энергетика. Термины и определения
11) ГОСТ Р 50571.4.43-2012 МЭК 60364-4-43 2008 Требования по обеспечению безопасности. Защита от сверх токов
12) ГОСТ Р 50571-4-44-2011 (МЭК 60364-4-44:2007) Электроустановки низковольтные. Часть 4-44. Требования по обеспечению безопасности. Защита от отклонений напряжения и электромагнитных помех
13) ГОСТ Р 56124.1-2014 (IEC/TS 62257-1:2003) Возобновляемая энергетика. Гибридные электростанции на основе возобновляемых источников энергии, предназначенные для сельской электрификации. Рекомендации. Часть 1. Общее введение для сельской электрификации
14) ГОСТ Р 56124.2-2014 (IEC/TS 62257-2:2004) Возобновляемая энергетика. Гибридные электростанции на основе возобновляемых источников энергии, предназначенные для сельской электрификации. Рекомендации. Часть 2. Из требований по классификации систем электроснабжения
15) Statistische Zahlen der deutschen Solarstrombranche. Bundesverband Solarwirtschaft e.V., Februar 2017
16) Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Fraunhofer ISE. Fassung vom 26.3.3017
17) Heinz-Dieter Frцse. Regelkonforme Installation von PV-Anlagen. Hьthig & Pflaum Verlag, Mьnchen/Heidelberg, 2011
18) Ralf Haselhuhn. Photovoltaik. Gebdude liefern Strom. Fraunhofer IRB Verlag. Stuttgart.
19) «Устройства защиты фотоэлектрических систем УЗФЭС». Техническое описание. ООО «Комменж» http://www.commeng.ru/katalog/file/70-to-new.pdf

commeng

www.commeng.ru, www.commeng.net

УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ДЛЯ ЭПУ
ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ ЗАЗЕМЛЕНИЯ.
COMMENG, САНКТ-ПЕТЕРБУРГ