

РАЗРАБОТКА СОЛНЕЧНОЙ МИНИ-ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ДЛЯ ПИТАНИЯ ЦЕПЕЙ ОПЕРАТИВНОГО ТОКА ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ

Павлов А. С. - студент группы 8Э(з)-71, Сташко В. И. - к.т.н., доцент,
РФ, Алтайский край, г. Барнаул,
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет
им. И. И. Ползунова»

Обеспечение надежной и эффективной работы гибких сетей и систем распределённой энергетики EnergyNet «Национальной технологической инициативы» (НТИ) - является одной из важнейших задач электроэнергетики [1].

Согласно положениям «дорожной карты» Минэнерго РФ, в настоящее время начато создание промышленного потенциала в области автоматизации электросетевого комплекса. В рамках реализации EnergyNet НТИ уже ведутся соответствующие работы, внедряются в качестве пилотных проектов цифровые, так называемые Plug and Play (самонастраивающиеся при подключении), подстанции, ведётся разработка систем автоматизации сетей, интеллектуальной коммутационной аппаратуры, энергетических роутеров и современных накопителей электрической энергии. Элементы архитектуры EnergyNet представлены на рисунке 1 [2].



Рисунок 1 – Элементы архитектуры EnergyNet по трем ключевым рынкам

Сегодня достаточно остро встает вопрос о модернизации всей существующей на данный момент отраслевой инфраструктуры, что требует не только новых, дополнительных средств и ресурсов, но и компетентного подхода к решению различных технических задач. Особенно важным при реализации долгосрочных программ в энергетике, является текущее поддержание надежности различных элементов энергосистемы, с применением инновационных инженерно-технических решений, внедрение высокотехнологичного оборудования и систем управления.

В этой связи, целью данной научно-исследовательской работы является повышение надежности и энергетической эффективности электрических станций и подстанций, за счет применения в системах управления и автоматики принципиально новых технических решений. К таким решениям можно отнести разработку и внедрение различных систем питания цепей оперативного (постоянного) тока трансформаторной подстанции (ТП), выполненных на основе использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Системы оперативного тока (СОТ) на ТП представляют собой совокупность кабельных линий, шин питания различных переключателей, прочих элементов управления и вторичных устройств, объединенных общими источниками питания. Основное назначение СОТ – питание устройств релейной защиты и автоматики (РЗА), телемеханики, аппаратуры дистанционного управления, и системы сигнализации. В случае обесточивания ТП вследствие нарушения нормального режима работы, СОТ может быть использована для аварийного освещения и питания различных ответственных механизмов. Согласно классификации, на ТП существуют следующие системы оперативного тока:

1. Системы переменного тока. В данных системах для питания оперативных цепей используются измерительные трансформаторы тока и напряжения, трансформаторы собственных нужд, а в качестве дополнительных источников тока (импульсного тока) могут быть использованы конденсаторы;

2. Системы постоянного тока. В этих системах в качестве источника питания оперативных цепей используются аккумуляторные батареи;

3. Системы выпрямленного тока. В системах данного типа переменный ток преобразуется в постоянный. Так же, как и в системах переменного тока, в качестве дополнительных источников питания могут быть использованы конденсаторы;

4. Смешанная СОТ. В данной системе используется два варианта, либо система постоянного тока (п. 2) и система выпрямленного тока (п. 3), либо система переменного тока (п. 1) и выпрямленного (п. 3).

Таким образом, принципиально СОТ могут быть выполнены в двух вариантах: иметь зависимое или независимое питание.

Системы постоянного тока применяются на ТП 110-220 кВ, и на ТП 35-220 кВ с масляными выключателями, для которых завод-изготовитель не подтверждает возможность подключения от систем выпрямленного тока.

Смешанная система выпрямленного и постоянного оперативного тока применяется с целью уменьшения емкости аккумуляторных батарей.

Все потребители постоянного тока на ТП делятся на три основные группы:

1. Постоянно подключенные потребители. К этим потребителям относятся устройства РЗА и сигнализации, устройства управления, и часть аварийного освещения. Для крупных подстанций 110-500 кВ, максимальное значение тока постоянно подключенных потребителей, составляет около 25 А.

2. Временно подключаемые потребители. Этим потребители подключаются при возникновении аварийного режима работы ТП, а время их подключения зависит от длительности аварийного режима. В среднем, это время составляет около 30 минут.

3. Кратковременная подключаемые потребители. К таким потребителям относятся приводы автоматов и выключателей, пусковые токи электродвигателей, РЗА, сигнализация и прочее кратковременно обтекаемое током оборудование. Длительность такой нагрузки составляет не более 5 секунд.

Для бесперебойного электроснабжения выпрямленным постоянным напряжением цепей управления и прочего электрооборудования с номинальным рабочим напряжением 24, 60, 110, 220, 440 В, в настоящее время на ТП используются щиты постоянного тока (ЩТП или ПСН – панели собственных нужд) серии ПСН-1200. Они предназначены для ввода и распределения тока от аккумуляторных батарей, с максимальным током в нагрузке 160 А, на ТП напряжением не выше 750 кВ. Внешний вид ЩТП серии ПСН-1200 представлен на рисунке 2, основные параметры приведены в таблице 1.



Рисунок 2 – Щит постоянного тока серии ПСН-1200

Системы выпрямленного тока, использующиеся в смешанных СОТ, обеспечивают как питание потребителей в цепях постоянного тока, так и зарядку аккумуляторных батарей. Наиболее распространенными являются зарядно-подзарядные выпрямительные агрегаты ВАЗП, предназначенные для зарядки и совместной работы с аккумуляторными батареями на нагрузку, а также для формовки отдельных аккумуляторных батарей.

Таблица 1 – Основные параметры щита постоянного тока серии ПСН-1200

№	Наименование параметра	Параметры
1	Тип панели	ПСН-1203 (панели отходящих линий)
2	Номинальное переменное напряжение главной цепи, В	220
3	Номинальное напряжение цепей постоянного тока, В	220
4	Номинальный ток ввода, А	2×160
5	Номинальный ток отходящих линий, А	160

Внешний вид агрегата ВАЗП-380/260-40/80-2 с индуктивно-емкостным сглаживающим фильтром и его основные параметры представлены на рисунке 3.



ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

Входное переменное напряжение, В	380
Число фаз	3
Номинальный выходной ток, А	40
Выходное выпрямленное напряжение, В ...	380/260
Номинальная выходная мощность, кВт	15,2

Рисунок 3 – Выпрямительный агрегат ВАЗП-380/260-40/80-2

Источниками постоянного тока для работы СОТ, являются аккумуляторные батареи, основным преимуществом которых является независимость от состояния первичной сети и режима работы ТП. Поэтому, системы с независимым источником постоянного тока, обладают повышенной надежностью в случае возникновения аварийных режимов. К недостаткам таких систем относят необходимость квалифицированного обслуживания аккумуляторных батарей, необходимость наличия выделенного помещения и относительная дороговизна оборудования.

Внешний вид помещения ТП, в котором размещены аккумуляторные батареи, представлен на рисунке 4.



Рисунок 3 – Аккумуляторные батареи цепей постоянного тока подстанции

При разработке системы питания цепей оперативного тока от солнечной мини-электростанции (миниСЭС), были проведены исследования режимов работы аккумуляторной батареи на подстанции 220/10 кВ. Батарея состоит из 106 последовательно соединённых элементов, напряжением 2,2 В каждый. Общее напряжение – 236 В, емкость батареи – 305 А·ч.

В исследуемой системе использовались стационарные свинцово-кислотные аккумуляторы производства компании OLDHAM FRANCE S. A., выпуска 2000 г. Основные характеристики аккумуляторной батареи приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные характеристики аккумуляторной батареи СОТ ТП 220/10 кВ

№	Наименование параметра	Параметры
1	Напряжение, В	236,38
2	Количество элементов	106
3	Емкость 10-ти часового режима, А·ч	305
4	Емкость 3-х часового режима, А·ч	189
5	Разрядный ток 10-ти часового режима, А	30,5
6	Разрядный ток 3-х часового режима, А	63
7	Максимальный разрядный ток, А	120
8	Максимальный зарядный ток, А	30,5
9	Поддерживающий зарядный ток, А	0,25

Все дальнейшие расчеты производились исходя из характеристик аккумуляторной батареи (таблица 2), основных параметров ВАЗП-380/260-40/80-2 и щита постоянного тока серии ПСН-1200. Режимы работы контроллера заряда аккумуляторных батарей от солнечных модулей были рассмотрены и практически отработаны в предыдущих разработках [3].

Используемые в настоящее время на подстанции 220/10 кВ элементы аккумуляторной батареи, могут быть заменены на более эффективные литий-ионные аккумуляторы отечественного производства ООО «Лиотех». В данных литий-ионных аккумуляторах, для изготовления катода используется литий-железо-фосфат (LiFePO₄) – специальный наноструктурированный материал. Благодаря этому достигается не только высокая плотность энергии аккумулятора, но и энергоэффективность, экологичность и безопасность. Аккумуляторы могут работать в широком диапазоне температур (от -40° С до +50° С), и имеют длительный срок эксплуатации.

Основные характеристики литий-ионного аккумулятора емкостью 380 А·ч представлены в таблице 3. В столбце таблицы «параметры», в скобках для сравнения указаны параметры используемых в настоящее время аккумуляторов компании OLDHAM FRANCE S. A.

Таблица 3 – Основные характеристики литий-ионного аккумулятора LT-LFP 380P

№	Наименование параметра	Параметры
1	Номинальная емкость, А·ч	380 (305)
2	Напряжение, В	3,2 (2,2)
3	Общее количество элементов	74 (106)
4	Максимальный разрядный ток, А	900 (120)
5	Максимальный зарядный ток, А	900 (30,5)
6	Ресурс, при глубине разрядки до 80 %, циклов	3000
7	Габаритные размеры	167×163×337 (124×206×508)
8	Масса, кг	14,8 (25,4)

Внешний вид литий-ионных аккумуляторов LT-LFP емкостью 270 А·ч, 380 А·ч, и 770 А·ч представлен на рисунке 4.



Рисунок 4 – Литий-ионные (LiFePO₄) аккумуляторные батареи ООО «Лиотех», емкостью: 1 - 270 А·ч; 2 - 380 А·ч; 3 - 770 А·ч

Как видно из таблицы 3, батарея литий-ионных аккумуляторов LT-LFP 380P имеет существенные преимущества по всем параметрам, в сравнении с используемыми в настоящее время. Они имеют более высокую емкость, а при использовании модели LT-LFP 770P, ёмкость будет больше в 2,5 раза. Из-за того, что номинальное напряжение элемента больше на 1 В, число последовательно соединенных аккумуляторов для системы питания цепей оперативного тока ТП будет значительно меньше - 74 шт., вместо 106 шт. Аккумуляторы LT-LFP 380P, также имеют преимущество по зарядному и разрядному току, более долговечны, и допускают глубокий разряд до 80% емкости. Они меньше по размерам, и легче почти на 11 кг.

Учитывая основные параметры предлагаемой к использованию в данной разработке аккумуляторной батареи, необходимо принять во внимание и тот факт, что обеспечить круглосуточную работу ВАЭП-380/260-40/80-2 или зарядку аккумуляторов от собственной миниСЭС, в ряде случаев не удастся. Это может быть связано с тем, что из-за конструктивных особенностей здания ТП или отсутствия свободной территории вокруг неё, мощность миниСЭС будет небольшой. Поэтому, при выборе инвертора, необходимо: во-первых, обращать внимание на те модели гибридных инверторов, которые могут работать в так называемом режиме «подпитки», а во-вторых, они должны быть трехфазными, и соответствовать мощности и общему напряжению массива солнечных модулей.

Наиболее подходящими для использования в системах оперативного тока являются гибридные трехфазные солнечные инверторы типа SILA PRO производства КНР, и отечественные типа МАП HYBRID с мощностями от 1 до 20 кВт (рисунок 5).



Рисунок 5 – Гибридные инверторы SILA PRO и МАП HYBRID

Особенности инверторов SILA PRO заключают в том, что они имеют встроенный контроллер MPPT (maximum power point tracking – отслеживание точки максимальной мощности), и вариант исполнения для трехфазных систем электроснабжения выполнен в одном корпусе.

В настоящее время ведется разработка схемы подключения миниСЭС к СОТ ТП, разрабатывается конструкция массива и подбирается мощность солнечных модулей.

Список использованных источников:

1. Программа мер по формированию принципиально новых рынков и созданию условий для глобального технологического лидерства России к 2035 году / Агентство стратегических инициатив [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://asi.ru/nti/>, свободный. - Загл. с экрана. (дата обращения: 29.01.2018).

2. «Дорожная карта» «Энерджинет» Национальной технологической инициативы [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/8916>, свободный. - Загл. с экрана. (дата обращения: 29.01.2018).

3. Столков А. С., Сташко В. И. Разработка экономической системы уличного освещения [Электронный ресурс] // Краевая научно-практическая конференция с международным участием «Энергетика глазами молодых»: [тез. докл.]. – Режим доступа: <http://stashko.ru/17009-28>, свободный. - Загл. с экрана. (дата обращения: 29.01.2018).

4. Общество с ограниченной ответственностью «Литий-ионные технологии» / Официальный сайт [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.liotech.ru> свободный. - Загл. с экрана. (дата обращения: 29.01.2018).