

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра электронной техники и технологии

**ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ.
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

*Рекомендовано УМО по образованию в области
информатики и радиоэлектроники для специальностей
1-39 02 02 «Проектирование и производство РЭС»
и 1-36 04 01 «Электронно-оптические системы и технологии»
в качестве пособия*

Минск БГУИР 2014

УДК 629.7.064.56(076.5)

ББК 31.252я7

Ф81

Авторы:

А. П. Достанко, В. П. Василевич, В. А. Русецкий, Н. С. Собчук

Рецензенты:

кафедра прикладной информатики учреждения образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет»
(протокол №4 от 28.12.2012);

генеральный менеджер ОАО «Интеграл», доктор технических наук,
профессор Л. П. Ануфриев

Фотоэлектрические системы. Лабораторный практикум : пособие /
Ф81 А. П. Достанко [и др.]. – Минск : БГУИР, 2014. – 67 с. : ил.
ISBN 978-985-488-958-0.

Пособие включает в себя теоретические сведения и практическое выполнение исследований инверторов, фотоэлектрических модулей и систем. Особое внимание уделено вопросам применения контроллеров для управления фотоэлектрическими системами.

Издание предназначено для закрепления и углубления теоретических знаний, приобретения практических навыков расчета фотоэлектрических систем и работы со всеми компонентами фотоэлектрических систем.

Может быть использовано при изучении дисциплин «Проектирование и производство фотоэлектрических приборов и систем» и «Производство электронных устройств и систем».

УДК 629.7.064.56(076.5)

ББК 31.252я7

ISBN 978-985-488-958-0

© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2014

Содержание

Лабораторная работа №1 Расчет и функциональный контроль параметров автономной фотоэлектрической системы.....	4
Лабораторная работа №2 Определение режима максимальной мощности фотоэлектрического преобразователя по световой вольт-амперной характеристике	19
Лабораторная работа №3 Исследование процесса аккумуляции электрической энергии, вырабатываемой фотоэлектрическим преобразователем	28
Лабораторная работа №4 Мониторинг и управление фотоэлектрической системой	45
Приложение А	62
Приложение Б.....	65

Библиотека БГУИР

Лабораторная работа №1

РАСЧЕТ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ АВТОНОМНОЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Цель работы: изучить типы и состав применяемых фотоэлектрических систем, устройство и принципы работы основных блоков и узлов фотоэлектрической установки, освоить методологию расчетов фотоэлектрической системы и получить навыки контроля параметров фотоэлектрической системы.

1.1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1.1 ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ РЕСУРС СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Солнечная энергия может стать альтернативой органическим видам топлива, запасы которых стремительно уменьшаются. Существующих запасов угля, нефти, газа хватит на ближайшие 50–100 лет, а солнечной энергии еще на 2–3 миллиарда лет. В настоящее время человечество потребляет лишь одну десятитысячную часть той энергии, которую Солнце направляет к Земле. Если бы человек смог взять у Солнца хотя бы один процент поступающей от него энергии, то энергетическая проблема не вставала бы перед человечеством еще многие века. Уже более полувека Солнце обеспечивает энергией космические аппараты на орбите. Экологически чистая и практически неиссякаемая энергия Солнца – это будущее земной энергетики. По прогнозам специалистов через 5–10 лет выработка электроэнергии солнечными батареями станет не только вполне конкурентоспособной, но и более дешевой, чем традиционные виды энергии. Основным компонентом солнечной батареи является фотоэлемент.

Фотоэлементы – это наиболее простой преобразователь солнечной энергии в электрическую, не требующий использования дополнительных устройств или приспособлений. Фотоэлементы, несмотря на небольшой КПД, отличаются высокой износостойкостью, так как не содержат движущихся частей. Но их широкому распространению препятствует пока еще высокая стоимость и необходимость наличия значительной территории для размещения. Эти трудности частично преодолеваются путем выноса преобразователей в космическое пространство, размещением солнечных батарей на крышах и стенах домов, заменой металлических преобразователей синтетическими и т. д. Для получения небольших количеств энергии, необходимых для питания, например, калькуляторов, телевизоров, маяков, телефонов и др., применение фотоэлементов вполне экономически оправдано. Солнечную батарею можно установить на крыше автомобиля, крыльях самолета, встроить в часы, ноутбук, фонарик и т. д. Служат такие элементы достаточно долго (около 30 лет). В течение этого срока один элемент, на производство которого расходовался всего один килограмм чистого кремния, даст количество электроэнергии, равное количеству электричества,

произведенного из 100 кг нефти на теплоэлектростанции или 1 кг обогащенного урана на атомной станции.

Конкурентоспособность солнечной энергетики определяется главным образом двумя наиболее значимыми факторами: во-первых, – это эффективность преобразования солнечной энергии в электричество, а во-вторых, – это, конечно же, цена. Однако занимающие ведущее положение на мировом рынке панели из кристаллического кремния, несмотря на наметившуюся тенденцию к повышению эффективности, далеко не дешевы. Причем основная часть их стоимости приходится на долю кремния. Наземные солнечные батареи до некоторых пор не могли соперничать с традиционными источниками энергии, кроме удаленных от центральных сетей мест, где реальной альтернативы солнечной энергии просто нет. Рост цен на поликристаллический кремний, ограничения поставок, недостаточные оптические характеристики, ограниченность захвата солнечного спектра и другие менее значимые недостатки кремниевых моно- и поликристаллических элементов привели ученых к необходимости поиска более надежных и эффективных материалов для солнечных элементов, а также создания новых усовершенствованных технологий для их производства.

По состоянию на 2011 г. 85 % производимых в мире солнечных модулей изготавливаются из кристаллического кремния и только 15 % изготавливаются на основе тонких пленок и аморфного кремния. Солнечные батареи на основе кремниевых пластин составляют основу современной фотоэнергетики. Кремниевые батареи используются и для выработки электроэнергии крупными солнечными электростанциями, созданными в рамках программ по развитию альтернативной энергетики, и простыми рядовыми потребителями, озабоченными ростом тарифов на электроэнергию и состоянием окружающей среды. КПД кремниевых батарей достигает 30 %, тогда как у их ближайших конкурентов – органических солнечных батарей, уровень КПД преобразования света в электроэнергию в 5–7 % считается неплохим результатом. Производство тонкослойных модулей – наиболее перспективное в настоящее время направление солнечной энергетики, способное значительно повысить конкурентоспособность отрасли по сравнению с традиционной энергетикой, основанной на углеводородном сырье.

1.1.2 ТИПЫ И СОСТАВ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Для того чтобы фотоэлектрические модули были надежным источником электроэнергии, необходимы дополнительные элементы в системе: кабели, поддерживающая структура и в зависимости от типа системы электронный инвертор и контроллер заряда с аккумуляторной батареей. Такая система в целом называется солнечной фотоэлектрической системой, или солнечной станцией. Есть три основных типа фотоэлектрических систем:

- автономные системы;
- системы, соединенные с электрической сетью;
- резервные системы.

1.1.2.1 Автономные фотоэлектрические системы (АФС)

Автономные фотоэлектрические системы используются там, где нет сетей централизованного электроснабжения. Для обеспечения энергией в темное время суток или в периоды без яркого солнечного света необходима аккумуляторная батарея. АФС часто используются для электроснабжения отдельных домов. Малые системы позволяют питать базовую нагрузку (освещение и иногда телевизор или радио). Более мощные системы могут также питать водяной насос, радиостанцию, холодильник, электроинструмент и т. п. Система состоит из солнечной панели, контроллера, аккумуляторной батареи, кабелей, электрической нагрузки и поддерживающей структуры. Автономные системы предназначены для электроснабжения передвижных объектов или объектов, удаленных от основных линий электропередач (в труднодоступных местах, куда затруднена или экономически невыгодна прокладка линий). Использование в таких условиях фотоэлектричества наиболее эффективно и оправдано, а стоимость 1 кВтч электроэнергии значительно ниже. На рисунке 1.1 показана типовая конфигурация автономной фотоэлектрической системы.

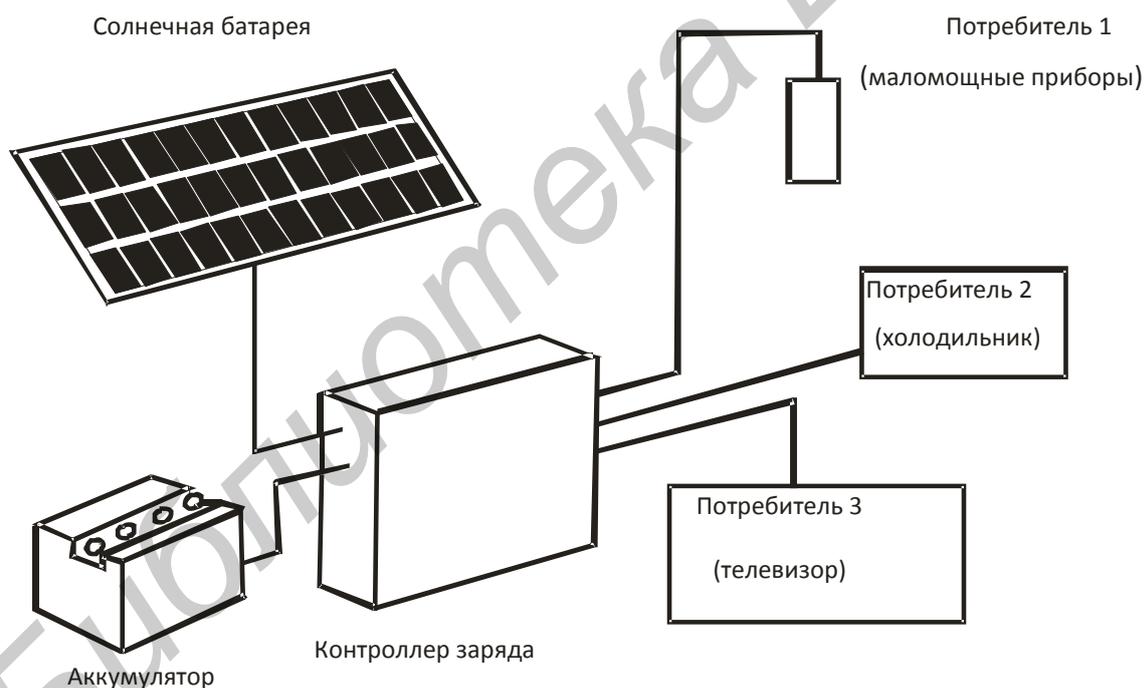


Рисунок 1.1 – Конфигурация автономной фотоэлектрической системы

1.1.2.2 Фотоэлектрические системы, соединенные с сетью

Когда есть сеть централизованного электроснабжения и есть желание иметь электроэнергию от чистого источника (солнца), солнечные панели могут быть соединены с сетью. При условии подключения достаточного количества

фотоэлектрических модулей определенная часть нагрузки в доме может питаться от солнечного электричества. Соединенные с сетью фотоэлектрические системы обычно состоят из одного или многих модулей, инвертора, кабелей, поддерживающей структуры и электрической нагрузки.

На рисунке 1.2 показана конфигурация соединенной с сетью фотоэлектрической системы. Инвертор используется для соединения фотоэлектрических панелей с сетью. Существуют также так называемые АС-модули, в которых инвертор встроен на задней части модуля. Солнечные панели (PV-генератор) могут быть установлены на крыше здания под оптимальным углом наклона с помощью поддерживающей структуры или алюминиевой рамы. Простые системы с АС-модулями и заводскими поддерживающими структурами выпускаются все в более крупных масштабах.

Станции этого типа (соединенные с промышленной электрической сетью) отдают выработанную энергию непосредственно в промышленную сеть, которая служит одновременно накопителем и распределителем энергии. Такие системы, установленные в городе на крышах и стенах зданий, могут обеспечивать электричеством само здание и компенсировать энергодефицит при пиковом энергопотреблении в полуденное время. Мощность станций может достигать нескольких мегаватт.

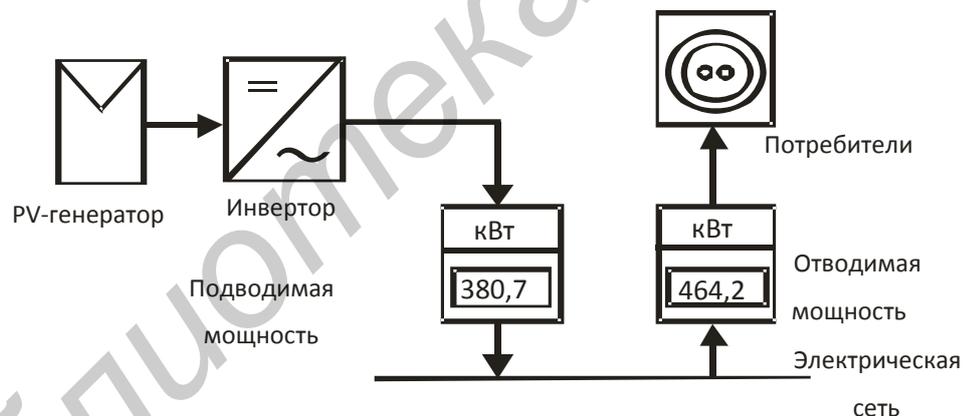


Рисунок 1.2 – Конфигурация фотоэлектрической системы, соединенной с сетью

1.1.2.3 Резервные (гибридные) фотоэлектрические системы

В солнечную погоду источником электроэнергии является солнечная батарея, которая заряжает аккумуляторную батарею. В периоды, когда солнца нет, а сила ветра достаточно велика, ветряной генератор генерирует мощность и заряжает аккумуляторную батарею. Как только происходит полный заряд батареи, солнечный или ветряной генератор прерывает работу. Инвертор преобра-

зует поступающий от аккумуляторной батареи ток в переменный ток напряжением 220 В. Таким образом обеспечивается возможность снабжения электроэнергией обычных потребителей.

На рисунке 1.3 показана конфигурация резервной (гибридной) фотоэлектрической системы.

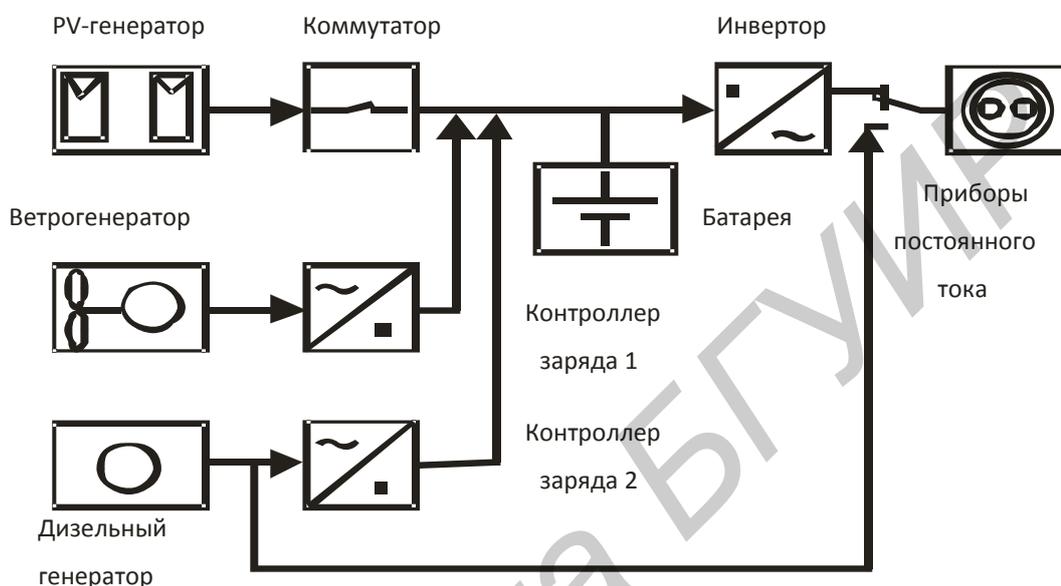


Рисунок 1.3 – Конфигурация резервной фотоэлектрической системы

Система состоит из фотоэлектрических модулей (PV-генератор), контроллера, аккумуляторной батареи, кабелей, инвертора, нагрузки и поддерживающей структуры.

Необходимая надежность работы даже в чрезвычайно агрессивных неблагоприятных погодных условиях гарантируется при использовании дизельного генератора. ЭВМ осуществляет контроль и управление целой системой, в первую очередь для того, чтобы гарантировать максимальную эффективность использования генерируемой энергии.

1.1.3 КОМПОНЕНТЫ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

1.1.3.1 Солнечные модули

Солнечные модули – основная часть любой фотоэлектрической системы. Наибольшее распространение получили солнечные модули из монокристаллических или мульткристаллических кремниевых элементов. Принцип действия таких элементов основан на явлении внутреннего фотоэффекта, при котором под воздействием солнечного излучения между двумя полупроводниками с различными электрическими свойствами возникает электрический ток.

1.1.3.2 Солнечные батареи

Для получения необходимой мощности и рабочего напряжения модули соединяют в батарею последовательно или параллельно. Таким образом получают фотоэлектрический генератор. Мощность солнечной батареи всегда меньше, чем сумма мощностей модулей из-за потерь, обусловленных различием в характеристиках однотипных модулей (потерь на рассогласование). Чем тщательнее подобраны модули в батарее (или чем меньше различие в характеристиках модулей), тем меньше потери на рассогласование. Например, при последовательном соединении десяти модулей с разбросом характеристик 10 % потери составляют приблизительно 6 %, а при разбросе 5 % – уменьшаются до 2 %.

При затенении одного модуля (или части элементов в модуле) в батарее при последовательном соединении возникает «эффект горячего пятна» – затененный модуль (элемент) начинает рассеивать всю производимую освещенными модулями (элементами) мощность, быстро нагревается и выходит из строя. Для устранения этого эффекта параллельно с каждым модулем (или его частью) устанавливают шунтирующий диод. Диод необходим при последовательном соединении более двух модулей. К каждой линейке последовательно соединенных модулей тоже подключается блокирующий диод для выравнивания напряжений линеек. Все эти диоды обычно размещаются в соединительной коробке самого модуля.

1.1.3.3 Регуляторы отбора максимальной мощности

Как правило, в этих регуляторах реализуется принцип поиска максимума мощности путем коротких периодических изменений положения рабочей точки. Если при этом мощность на выходе прибора увеличивается, то положение рабочей точки изменяется в этом направлении при следующем шаге. Таким образом, постоянно оптимизируется нагрузочная характеристика для отбора максимальной мощности, а также обеспечивается возможность регулировки в широком динамическом диапазоне и формирования импульсов тока, способных зарядить аккумуляторную батарею даже в условиях малой освещенности. Этот достаточно простой алгоритм может быть улучшен «запоминанием» часто повторяющихся направлений смещения рабочей точки (для устранения шагов смещения в ложных направлениях), что бывает важно в условиях быстро меняющейся освещенности. На выходе регулятора формируются импульсы постоянного тока, ширина и частота следования которых зависит от мощности, производимой солнечным модулем в данный момент. При этом, если рабочее напряжение нагрузки меньше, чем рабочее напряжение модуля, то можно получать большие значения токов в нагрузке, чем ток короткого замыкания модуля. Следует учитывать, что регуляторы имеют КПД 0,85...0,95. Самый большой выигрыш в мощности регулятор дает при работе модуля, собранного

из 36 элементов, на аккумуляторную батарею с напряжением 12 В при низких значениях температуры окружающей среды.

1.1.3.4 Регуляторы зарядки – разрядки

Чтобы защитить батарею от избыточной разрядки, нагрузка должна быть отключена, когда напряжение батареи падает ниже напряжения отключения. Нагрузка не должна подключаться до момента, когда напряжение не возрастет до определенного порога (напряжения подключения). Существуют довольно противоречивые стандарты этих значений. Они зависят от конструкции определенных батарей, производственного процесса и срока службы батарей. В некоторых моделях регуляторов используется звуковой сигнал, который сообщает пользователю о скором отключении нагрузки. Может предусматриваться и ручное отключение контроля нагрузки. Чтобы защитить батарею от перезарядки, необходимо ограничить зарядный ток по достижении напряжения окончания зарядки. Напряжение начнет снижаться, пока не достигнет другого порога, называемого напряжением возобновления заряда. На практике выбор напряжения окончания и возобновления заряда – компромисс между обеспечением полного заряда (и усиленного испарения электролита при высоких напряжениях) и недозаряда (предотвращения коррозии электродов и потребления воды – низкие напряжения). Небольшие системы имеют тенденцию к перепотреблению энергии, поэтому допускается перезарядка (высокое потребление воды) и следует использовать более высокое напряжение окончания заряда. Некоторые производители включают в набор функций регулятора управляемую перезарядку для выравнивания напряжения на аккумуляторах в батарее.

В регуляторах могут быть предусмотрены следующие виды защиты:

- от короткого замыкания в нагрузке;
- от подключения аккумуляторной батареи обратной полярностью;
- температурная компенсация значений пороговых напряжений (это бывает необходимо, если предполагается эксплуатация батарей при температурах ниже минус 10 °С).

Регуляторы имеют светодиодную или жидкокристаллическую индикацию режимов работы и изготавливаются, как правило, в отдельном пылевлагозащищенном корпусе. Класс защиты – от IP32 (защита от песка и дождевых брызг) до IP65 (пылевлагодонепроницаемый). Все сказанное относится к регуляторам для автономных солнечных систем небольшой мощности (до 1кВт). В более мощных системах функции контроля зарядки и разрядки берет на себя системный контроллер (управляющий также всей системой). В большинстве случаев это устройство сопряжено с компьютером (осуществляющим к тому же непрерывный мониторинг за работой компонентов с запоминанием значений освещенности, температуры, тока и напряжения для последующего анализа).

1.1.3.5 Аккумуляторные батареи

Надежность и эффективность работы фотоэлектрических станций во многом определяется правильностью выбора аккумуляторных батарей. Накопление и аккумуляция энергии осуществляется посредством преобразования химической энергии в электрическую. Аккумуляторные батареи, используемые в солнечных энергосистемах, сравнительно глубоко разряжаются каждый вечер и заряжаются в светлое время суток. Для сохранения солнечной энергии применяются свинцово-кислотные аккумуляторные батареи. Наиболее известны следующие типы свинцово-кислотных батарей:

- стартерные (автомобильные);
- AGM (герметичные);
- герметичные гелевые;
- заливные с намазными пластинами (серия OPzS);
- тяговые.

Выбор аккумуляторных батарей для конкретной солнечной электросистемы определяется рядом факторов, основными из которых являются низкий уровень саморазряда, способность работать с малыми зарядными токами, а также в режимах глубокого разряда, работоспособность при низких температурах (это касается систем круглогодичного использования), минимальные требования по техническому обслуживанию.

Аккумуляторные батареи глубокого цикла, рассчитанные на большое число циклов заряда – разряда, как нельзя лучше подпадают под эти требования.

В зависимости от конструктивных особенностей свинцово-кислотные аккумуляторы подразделяются на обслуживаемые и необслуживаемые. Понятно, что обслуживаемые нуждаются в регулярном техобслуживании, контроле уровня и плотности электролита. Необслуживаемые – являются герметичными и требуют минимального ухода.

Различные типы аккумуляторов имеют различные характеристики: количество циклов перезарядки, сроки хранения, емкость, диапазон рабочих температур, возможности быстрой зарядки и, наконец, стоимость.

Аккумуляторы «глубокого разряда» наиболее предпочтительны в автономных системах солнечного электроснабжения, например, ProSolar серии D или DG, а еще лучше герметичные гелевые аккумуляторы OpzV. Заливные батареи с намазными пластинами OpzS и тяговые нуждаются в особом вентилируемом помещении и строгом соблюдении требований пожаробезопасности, а также в постоянном контроле и обслуживании специально обученным персоналом, что не всегда возможно обеспечить. В таких случаях лучше применять герметичные необслуживаемые аккумуляторы – более высокая стоимость с лихвой компенсируется легкостью в эксплуатации.

1.1.3.6 Инверторы

В соответствии с типом фотоэлектрической системы инверторы подразделяются на два типа:

- инверторы для автономных систем;
- инверторы сетевого использования.

Инвертор первого типа содержит генератор частоты, а инвертор сетевого использования в качестве генератора частоты использует саму сеть, т. е. работает синхронно с централизованной сетью электроснабжения. КПД обоих типов инверторов не должен быть менее 90 %. Автономные инверторы могут быть как однофазными с выходным напряжением 220 В при частоте 50–60 Гц, так и трехфазными с напряжением 380 В. Поскольку автономные инверторы преобразуют постоянный ток аккумуляторных батарей, то и входное напряжение подбирается соответственно из ряда 12, 24, 48 и 120 В. При более высоких входных напряжениях требуется более простой тип инвертора. Чем больше напряжение, тем меньше потери при передаче энергии от солнечной батареи к аккумуляторной батарее, контроллеру заряда – разряда и инвертору, но зато сложнее конструкция автономной солнечной электростанции и проблематичнее эксплуатация при опасных величинах напряжения (выше 40 В). Для автономных солнечных электростанций допустимо использование более дешевых инверторов с трапециевидным выходным сигналом (если позволяет нагрузка). В автономных инверторах КПД не должен уменьшаться на значительную величину даже при подключении нагрузки, в 10 раз меньшей по мощности, чем номинальная мощность инвертора. При подключении же мощных нагрузок, таких как электродвигатели, возникающие перегрузки в выходных цепях не должны снижать работоспособность инвертора.

Для использования в фотоэлектрических системах существует множество модификаций инверторов. Современные модели инверторов уже содержат блок регулятора отбора максимальной мощности, блок регулятора заряда, а также вход для подключения дизель-генератора, необходимый для подзарядки аккумуляторной батареи в экстренных случаях.

Выпускаются также фотоэлектрические модули со встроенным на тыльной стороне модуля инвертором. Это так называемые АС-модули.

Для питания большинства домашних электроприборов, таких, как телевизор, освещение, холодильники и др., вполне достаточно инвертора с квазисинусоидальной формой выходного сигнала. Инверторы с квазисинусоидой выходного сигнала не подходят для работы (или вообще могут вывести из строя) таких потребителей, как автоматика газовых котлов, циркуляционные насосы, а также жидкокристаллические дисплеи, видеопроекторы и ноутбуки.

1.1.3.7 Соединительные кабели

Немаловажными компонентами фотоэлектрической системы являются соединительные кабели и разъемы. Монтаж каждого отдельно взятого фотоэлектрического модуля требует приблизительно 1,60 м кабеля. Надежные системы соединений (разъемы, кабели, соединительные коробки), предназначенные конкретно для солнечных энергосистем, позволяют быстро и легко производить монтаж фотоэлектрической системы непосредственно на месте, существенно снижая не только трудоемкость сборки, но и затраты. Системы соединений для фотоэлектрических установок рассчитаны на высокое напряжение и нагрузки, соответствуя всем возможным требованиям защиты для такого рода продукции.

Кабели для фотоэлектрических систем должны иметь следующие свойства:

- огнестойкость;
- стойкость к термическим воздействиям (диапазон рабочих температур от минус 30 °С до плюс 120 °С).
- устойчивость к негативному влиянию атмосферных факторов на протяжении длительного времени, эквивалентного сроку службы всей фотоэлектрической системы;
- достаточная гибкость, необходимая для облегчения монтажных работ;
- оптимальные электрические свойства.

Использование качественных кабелей известных производителей и правильное их подключение поможет избежать лишних потерь в системах соединений. Правильный расчет и выбор сечения кабеля имеет большое значение для минимизации потерь, так как от сечения напрямую зависит сопротивление участка кабеля данного сечения.

1.2 РАСЧЕТ АВТОНОМНОЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Под расчетом ФЭС понимается определение номинальной мощности модулей, их количества, схемы соединения; выбор емкости АКБ; мощностей инвертора и контроллера заряда – разряда; определение параметров соединительных кабелей. Порядок расчета следующий.

1 Определение энергопотребления.

Мощность каждого из потребителей измеряется в ваттах и указана в паспортах изделий. Значения мощности электробытовых приборов приведены в таблице А.1 приложения А.

Составляем список всех нагрузок переменного тока, ее мощность (P_i) и часы работы в неделю (t). Перемножая мощность на время работы, определяем потребляемую энергию в Вт · ч в неделю (W_i) для одной нагрузки:

$$W_i = P_i \cdot t. \quad (1.1)$$

Получившиеся значения складываются для определения суммарной потребляемой энергии переменного тока в неделю:

$$W_0 = \sum W_i. \quad (1.2)$$

Далее нужно рассчитать сколько потребуется энергии постоянного тока. Для этого нужно умножить получившееся значение на коэффициент (1.2), учитывающий потери в инверторе (коэффициент полезного действия инвертора принимается 80 %).

$$W_1 = W_0 \cdot 1,2. \quad (1.3)$$

Определяем значение входного напряжения инвертора по характеристикам выбранного инвертора (U_i). Обычно это 12 или 24 В. Разделив значение энергии постоянного тока на напряжение инвертора, получим число ампер-часов в неделю (E_1), требуемое для покрытия нагрузки переменного тока:

$$E_1 = W_1 / U_i. \quad (1.4)$$

Аналогично составляем список нагрузки постоянного тока. Перемножая мощность на время работы, определяем потребляемую энергию постоянного тока в Вт · ч в неделю (W_2). Определим напряжение в системе постоянного тока (U). Обычно это 12 или 24 В. Определите требуемое количество А · ч в неделю для нагрузки постоянного тока:

$$E_2 = W_2 / U. \quad (1.5)$$

Общее количество электричества А · ч в неделю, потребляемое всей нагрузкой, равно сумме ее отдельных значений. Разделив это значение на число дней в неделе, получим количество энергии в день:

$$E_{\Sigma} = (E_1 + E_2) / 7. \quad (1.6)$$

2 Определение емкости АКБ.

Определим максимальное число последовательных «дней без солнца» или число дней автономного электроснабжения без подзаряда (n).

Количество электричества, которое нужно запасти АКБ, определяется как отношение произведения общего количества А · ч в сутки и количества дней без подзаряда на глубину разряда АКБ (при глубине разряда 20 % используем коэффициент 0,2) :

$$E = (E_{\Sigma} \cdot n) / \eta. \quad (1.7)$$

В холодную погоду при понижении температуры нужно учитывать снижение емкости АКБ. Значения температурного коэффициента приведены в таблице А.2 приложения А. Примем его равным 1,2. Тогда полная емкость батареи равна

$$C = E \cdot 1,2. \quad (1.8)$$

Разделив полученное значение полной емкости батареи на номинальную емкость, получим количество батарей, соединенных параллельно:

$$N_1 = C / C_n. \quad (1.9)$$

Разделим номинальное напряжение системы на напряжение батареи, получим количество батарей соединенных последовательно:

$$N_2 = U / U_{\text{АКБ}}. \quad (1.10)$$

3 Определение суммарной мощности и количества солнечных модулей.

Определим среднее количество пиковых солнечных часов (по данным таблицы А.3 приложения А).

Для расчета потребуется значение солнечной радиации, которое берется в период работы станции, когда солнечная радиация минимальна. В случае круглогодичного использования – это декабрь ($E_{\text{дек}}$). КПД солнечного модуля – около 14 %. Учитывая потери в проводах и на нагрев, принимается КПД = 10 %. Тогда среднее количество пиковых солнечных часов равно отношению солнечной радиации за выбранный месяц с учетом КПД к количеству дней в этом месяце:

$$t_{\text{п}} = E_{\text{дек}} \cdot 0,1 / 31. \quad (1.11)$$

Потери на заряд – разряд аккумуляторной батареи обычно 20 % (коэффициент 1,2). Зная общую потребляемую энергию в кВт · ч, с учетом потерь на заряд – разряд, требуемая мощность солнечной батареи равна

$$P = E_{\Sigma} \cdot 1,2 / t_{\text{п}}. \quad (1.12)$$

Для определения количества модулей делим требуемую мощность солнечной батареи на пиковую мощность фотоэлектрического модуля в точке максимальной мощности (таблица А.6 приложения А):

$$N_{\text{м}} = P / P_{\text{п}}. \quad (1.13)$$

Округляем до ближайшего большего целого значения. Число модулей, соединенных последовательно, равно отношению требуемого выходного напряжения постоянного тока (U) к номинальному напряжению солнечного модуля ($U_{\text{н}}$):

$$n_{\text{м}} = U / U_{\text{н}}. \quad (1.14)$$

4 Расчет линий кабельной связи.

Рекомендуется подбирать сечение кабеля так, чтобы падение напряжения не превышало 2 % (0,25 В).

Удельное сопротивление кабеля равно отношению падения напряжения (E) к произведению силы тока на удвоенную длину кабеля L (для положительного и отрицательного провода):

$$R = E / I \cdot L. \quad (1.15)$$

Зная расчетную суммарную мощность нагрузки и напряжение аккумуляторной батареи, рассчитаем ток провода:

$$I = P_{\Sigma} / U, \quad (1.16)$$

где P_{Σ} равно сумме мощностей нагрузки переменного и постоянного токов.

По таблицам А.4 и А.7 приложения А определяем сечение провода, зная значение удельного сопротивления и его длину.

1.3 ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

Для выполнения работы необходимы следующее оборудование и материалы.

1 Батарея из шести солнечных модулей типа МС-50-4 с суммарной пиковой мощностью 300 Вт.

2 Гелиевая тяговая аккумуляторная батарея напряжением 24 В емкостью 120 А·ч.

3 Контроллер типа SS-MPPT-15L.

4 Соединительные кабели.

1.4 ХОД ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1 Изучить состав, устройство и назначение основных узлов и деталей фотоэлектрической установки и правила ее расчета.

2 Получить у преподавателя вариант задания на проектирование фотоэлектрической установки (начальные данные приведены в таблице. А.6 приложения А).

3 Разработать структурную схему автономной фотоэлектрической установки с использованием контроллера типа SS-MPPT-15L и согласовать ее с преподавателем.

4 Выполнить расчет параметров фотоэлектрической установки:

1) определить энергозатраты потребителей переменного тока по формулам (1.1), (1.2), данные занести в таблицу 1.1;

Таблица 1.1 – Энергозатраты потребителей переменного тока

Нагрузка постоянного тока	P, Вт	t, часов/неделю	$W_{\text{потр.сут}}$, Вт·ч/сут	$W_{\text{потр.нед}}$, Вт·ч/неделю

2) определить общее количество электричества для потребителей переменного тока по формулам (1.3), (1.4);

3) определить энергозатраты потребителей постоянного тока, данные занести в таблицу 1.2;

Таблица 1.2 – Энергозатраты потребителей постоянного тока

Нагрузка постоянного тока	P, Вт	t, часов/неделю	$W_{\text{потр.сут}}$, Вт·ч/сут	$W_{\text{потр.нед}}$, Вт·ч/неделю

4) определить общее количество электричества для потребителей переменного тока по формуле (1.5);

5) определить количество электричества для всех потребителей в сутки по формуле (1.6).

5 Определить емкость АКБ, количество батарей, соединенных параллельно и последовательно по формулам (1.7) – (1.10).

6 Определить суммарную мощность и количество солнечных модулей по формулам (1.11) – (1.14).

7 Расчет линий кабельной связи (провода, соединяющие АКБ и нагрузку постоянного тока):

1) определить удельное сопротивление провода и силу тока по формулам (1.15) (2.16);

2) по таблице А.4 определяем сечение провода.

8 Собрать с помощью преподавателя фотоэлектрическую установку с использованием контроллера типа SS-MPPT-15L.

9 Экспериментально исследовать с преподавателем расчетные режимы работы фотоэлектрической установки:

1) подключить контроллер к нагрузке, АКБ, солнечной батарее;

2) выполнить самодиагностику.

10 Выполнить измерения электрических параметров собранной фотоэлектрической установки.

11 По результатам измерений сделать вывод о работоспособности фотоэлектрической установки (таблицы Б1– Б4, приложение Б).

1.5 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1 Название работы.

2 Цель работы.

3 Назначение и краткое описание конструкции и работы узлов фотоэлектрической установки.

4 Задание на проведение экспериментальных исследований.

5 Результаты расчетов и измерений.

6 Выводы.

1.6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1 Что собой представляет фотоэлектрическая система?

2 Какие аккумуляторные батареи лучше использовать для фотоэлектрических установок?

3 По каким параметрам выбирается мощность фотоэлектрических модулей?

4 Какие бывают типы АКБ?

5 Какую функцию в ФЭС выполняет контроллер типа SS-MPPT-15L?

6 Какие бывают разновидности фотоэлектрических систем?

7 Как рассчитать и выбрать емкость аккумуляторной батареи?

8 Зачем нужен контроллер заряда АКБ в автономной системе энергоснабжения?

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Фотоэлектрическое преобразование солнечной энергии / В. П. Василевич [и др.]. – Минск : Бестпринт, 2008. – 420 с.
- 2 Солнечная энергетика : учеб. пособие для вузов / В. И. Виссарионов [и др.]. – М. : Издат. дом «МЭИ», 2008. – 317 с.
- 3 Раушенбах, Г. Справочник по проектированию солнечных батарей / Г. Раушенбах ; пер. с нем. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 252 с.
- 4 Колтун, М. М. Оптика и метрология солнечных элементов / М. М. Колтун. – М. : Наука, 1985. – 280 с.

Библиотека БГУИР

Лабораторная работа №2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМА МАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПО СВЕТОВОЙ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ

Цель работы: изучить энергетический ресурс солнечного излучения, устройство и типовые эксплуатационные характеристики фотоэлектрических преобразователей, освоить методологию снятия вольт-амперной характеристики солнечной батареи в натуральных условиях и получить навыки экспериментальных измерения параметров фотоэлектрических преобразователей и оптимизации режимов их работы.

2.1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1.1 СТРУКТУРА СОЛНЕЧНОГО МОДУЛЯ

Солнечный модуль является основным элементом любой фотоэлектрической системы (ФС). ФС часто используются для электроснабжения отдельных домов. Также они предназначены для электроснабжения передвижных объектов или объектов, удаленных от основных линий электропередач (в труднодоступных местах, куда затруднена или экономически невыгодна прокладка линий). Мощность автономных систем – в пределах 0,0...100 кВт. Малые системы позволяют питать базовую нагрузку.

Кроме солнечного модуля для обеспечения энергией в темное время суток или в периоды без яркого солнечного света необходима аккумуляторная батарея.

В состав ФС входят также контроллер, кабели, электрическая нагрузка и поддерживающая структура.

Наиболее распространенными сегодня в мире и перспективными устройствами являются устройства на полупроводниковых переходах, называемых фотоэлементами или солнечными элементами (СЭ). В СЭ под действием падающего СИ происходит пространственное перераспределение зарядов и возникает ЭДС. Сегодня подавляющее большинство СЭ представляют собой кремниевые полупроводниковые диоды.

В солнечном элементе (СЭ) используется явление фотоэффекта. Суть фотоэффекта заключается в том, что электронно-дырочные пары, генерируемые фотонами, разделяются электрическим полем р-п-перехода. В результате на омических контактах диода в разомкнутом состоянии появляется при освещении фотоЭДС, вызывающая при замыкании внешней цепи протекание тока. Следовательно, СЭ прямо преобразует световую энергию в электрическую энергию.

Солнечные элементы бывают двух типов: «n»-типа, у которых тыльная сторона является минусовым контактом, а лицевая (рабочая) – плюсовым, и элементы «р»-типа с противоположным расположением контактов. Принципиальная схема и устройство СЭ первого типа показаны на рисунке 2.1.

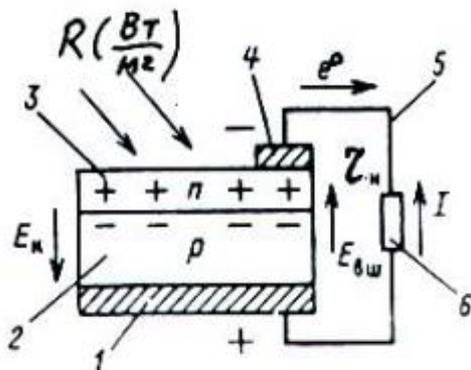


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема фотоэлемента

Металлический электрод 1 наносится на тыльную сторону кристаллической кремниевой основы. Эта основа легирована путем диффузии или ионной бомбардировки в своей нижней части примесными (акцепторными) атомами бора или алюминия, а в верхней (более тонкой части) – донорными атомами фосфора или мышьяка. В результате этого легирования образуется слой 2-полупроводника р-типа с основными носителями зарядов положительного типа или дырками, а также тонкий слой 3-полупроводника n-типа с основными носителями зарядов отрицательного знака или свободными электронами. Под влиянием градиента концентрации свободные основные носители зарядов обоих знаков диффундируют через границу соприкосновения областей 2 и 3 и образуют вблизи нее р-n-переход с напряженностью электрического поля E_k на рисунке 2.1 с контактной разностью потенциалов $U_k = S \cdot E_k$ (где S – ширина пограничного слоя) и потенциальным энергетическим барьером $W_k = eU_k$ для основных носителей, имеющих заряд электрона e . Напряженность наведенного электрического поля E_k препятствует диффузии электронов за пределы пограничного слоя шириной S .

На лицевую сторону кристалла-кремния наносится лицевой контакт или электрод 4. К электродам 1 и 4 припаивается проводник 5, образующий внешнюю цепь с нагрузкой 6 или другими СЭ.

При попадании солнечного излучения (СИ) на СЭ в слоях 2 и 3 происходит пространственное появление неосновных носителей зарядов со знаками, противоположными основным носителям в n- и p-областях (соответственно со знаком «+» и «-» на рисунке 2.1). За счет контактной разности потенциалов дырки переносятся в p-область, а электроны накапливаются в n-области. При этом n-область приобретает отрицательный, а область p – положительный за-

ряд. Это эквивалентно приложению к p-n-переходу внешнего электрического поля с напряженностью $E_{вн}$, встречного с $E_{к}$. Поле напряженностью $E_{вн}$ является запирающим для неосновных и движущим для основных носителей зарядов. Динамическое равновесие потока носителей через p-n-переход ведет к установлению на электродах 1 и 4 разности потенциалов или U_0 , т. е. ЭДС холостого хода СЭ. Это явление в принципе может происходить и при отсутствии попадания СИ на СЭ. Если же СЭ облучается потоком фотонов, то фотоны сталкиваются со связанными (валентными) электронами кристалла, имеющими определенные энергетические уровни W_y . Если энергия фотонов, попадающих на СЭ больше, чем W_y , то электрон кристалла покидает свой уровень и образует «дырку» в кристалле; p-n-переход разделяет пары электрон-дырка и U_0 увеличивается.

Если энергия фотонов меньше W_y , то наличие СИ приводит только к нагреву СЭ. Кроме того, для каждого полупроводника существует и предельная энергия фотонов, когда дальнейшее увеличение $W_{ф}$ не может больше привести к росту отдачи. В этом случае избыточная энергия фотонов, превышающая так называемую полосу поглощения, также используется лишь на нагрев СЭ. Указанная полоса поглощения СЭ зависит от основного материала СЭ, количества и толщины слоев полупроводника, их расположения по отношению к падающему СИ, легирующих материалов и т. д.

При повышении температуры эффективность любого СЭ снижается. При этом из наиболее распространенных сегодня материалов СЭ наилучшие термические характеристики имеет арсенид галлия.

Если далее во внешнюю цепь СЭ включить некоторую нагрузку с сопротивлением r_n , то по этой цепи пойдет ток I , направление которого встречно движению электронов. Дырки же перемещаются только в самом полупроводнике.

Чем больше мощность СИ, тем больше ток во внешней цепи. Однако его величина не может быть больше некоторого предельного тока СЭ, который определяется тем, что все валентные электроны переведены в свободное состояние.

В целом зависимость тока СЭ (I) от его напряжения (U) при заданной величине мощности СИ, т. е. R ($Вт/м^2$), называется вольт-амперной характеристикой СЭ (рисунок 2.2).

Традиционное снятие вольт-амперной характеристики предусматривает подключение солнечных элементов к нагрузке с переменным сопротивлением и изменение этого сопротивления с последовательным снятием точек вольт-амперной характеристики (ВАХ), в стандартных тестовых условиях (STC – Standart Test Conditions): солнечная радиация 1000 Вт/м^2 , температура $25 \text{ }^\circ\text{C}$, оптическая масса атмосферы, определяющая диапазон пропускаемых волн солнечного спектра, 1,5 (AM1,5).

Для типовой ВАХ можно выделить две характерные точки – точка холостого хода ($(U_{хх}) U_n = U_{n \max} = U_{х.х}; I_n = 0$) и точка короткого замыкания ($I_{к.з}$), ко-

гда $I_H = I_{\max} = I_{K3}$; $U_H = 0$. Очевидно, что полезная мощность СЭ будет равна произведению U_H на I_H , т. е. $P_{сэ} = U_H I_H$, и в точках ХХ и КЗ она равна нулю, достигая максимума при некоторых промежуточных значениях U_H и I_H . Чем в большем диапазоне напряжений сохраняется постоянным значение I_H , тем выше качество СЭ. На рисунке 2.2 даны ВАХ СЭ при разных уровнях солнечной радиации.

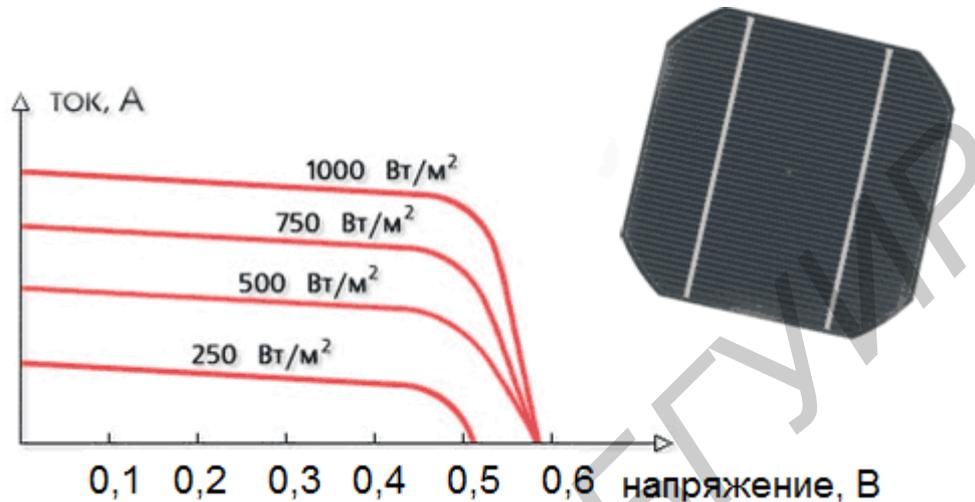


Рисунок 2.2 – Вольт-амперная характеристика СЭ

Температура нагрева элементов также влияет на эффективность их работы. Нагрев элемента на каждый градус свыше $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ вызывает потерю напряжения на $0,002\text{ В}$. На рисунке 2.3 показаны вольт-амперные характеристики элемента при температурах $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

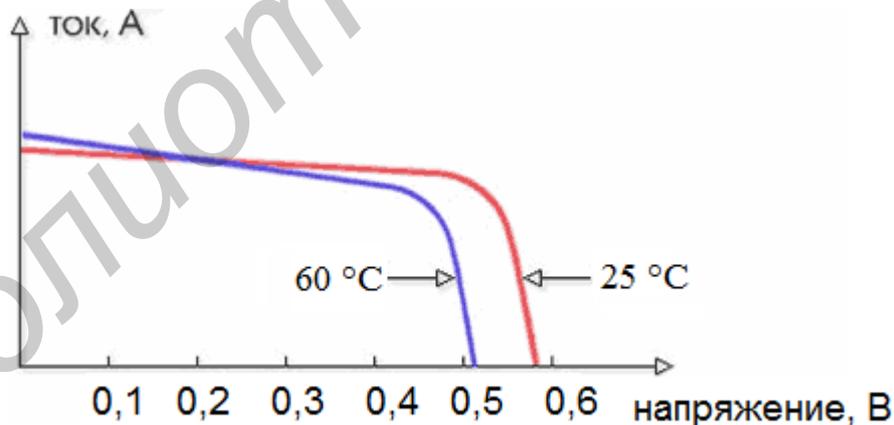


Рисунок 2.3 – Вольт-амперная характеристика ФСМ при различных температурах

Фотоэлектрические солнечные модули (ФСМ) наземного использования обычно конструируются из СЭ для зарядки свинцово-кислотных аккумуляторных батарей с номинальным напряжением 12 В . При этом последовательно соединяются 36 фотоэлектрических солнечных элементов (разрез ФСМ показан на рисунке 2.4) Полученный пакет обычно обрамляют в алюминиевую раму,

облегчающую крепление к несущей (опорной) конструкции. Мощность солнечных модулей может достигать 10...300 Вт.

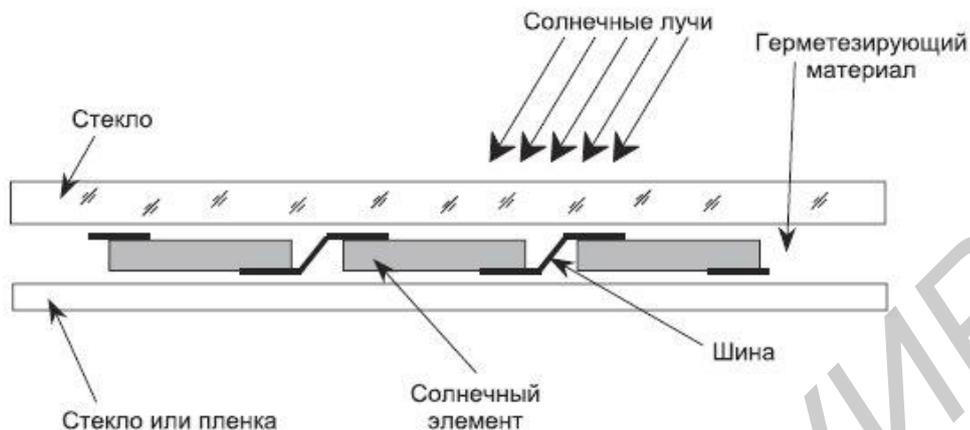


Рисунок 2.4 – Разрез солнечного модуля

На рисунке 2.5 показана зависимость между током и напряжением на выводах солнечного модуля. Ее вид похож на ВАХ СЭ.

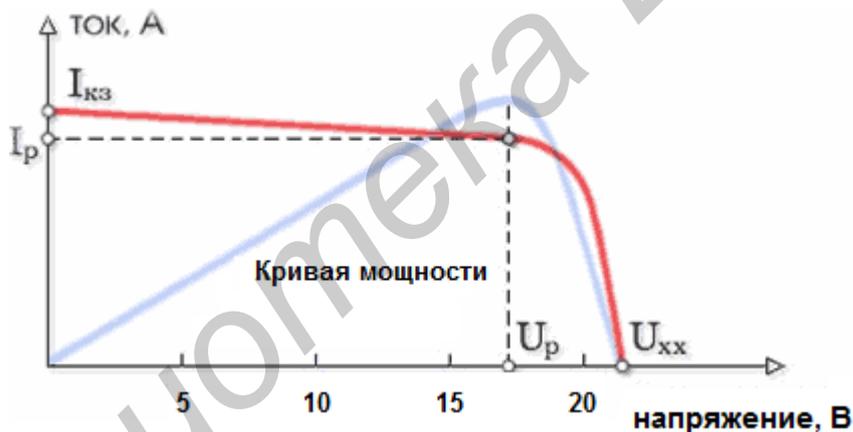


Рисунок 2.5 – Типовая вольт-амперная характеристика ФСМ

Напряжение, при котором ток равен нулю, тоже называется напряжением холостого хода ($U_{х.х}$), а ток, при котором напряжение равно нулю, называется током короткого замыкания ($I_{к.з}$). В этих крайних точках ВАХ мощность солнечного модуля равна нулю. Максимальная мощность модуля определяется как наибольшая мощность при стандартных условиях. Напряжение, соответствующее максимальной мощности, называется напряжением максимальной мощности (рабочим напряжением – U_p), а соответствующий ток – током максимальной мощности (рабочим током – I_p). Именно для этой точки определяются номинальная мощность и КПД солнечного модуля.

Напряжение холостого хода, вырабатываемое отдельно взятым фотоэлементом, отличается от аналогичного параметра других элементов в той же се-

рии незначительно, как и одной фирмы-производителя от другой, на величину, приблизительно равную 0,06 В, и не зависит от площади элемента.

Следует заметить, что напряжение холостого хода модуля мало зависит от освещенности. Ток короткого замыкания, а соответственно и рабочий ток, зависит и от интенсивности освещения, и от площади фотоэлемента. Максимальная или пиковая мощность элемента из кремния соответствует рабочему напряжению, равному приблизительно 0,47 В.

КПД солнечного модуля определяется как отношение максимальной мощности (модуля) к общей мощности излучения, падающей на его поверхность при стандартных условиях, и составляет 11...17 %.

Солнечный модуль может работать при любом параметре напряжения и тока, расположенным на его ВАХ, но в реальности модуль работает в одной точке в данное время. Эта точка выбирается не модулем, а электрическими характеристиками цепи, к которой данный модуль подключен. В настоящее время используются контроллеры заряда для выбора оптимальной рабочей точки.

Вольт-амперная характеристика батареи имеет тот же вид, что и единичного модуля. Рабочая точка генератора, подключенного к нагрузке, не всегда совпадает с точкой максимальной мощности, тем более что положение последней зависит от условий освещенности и температуры окружающей среды.

После выбора типа солнечных модулей необходимо выбрать способ их соединения. ФСМ можно составлять в любой желаемой комбинации из фотоэлектрических солнечных элементов, рисунок 2.6.

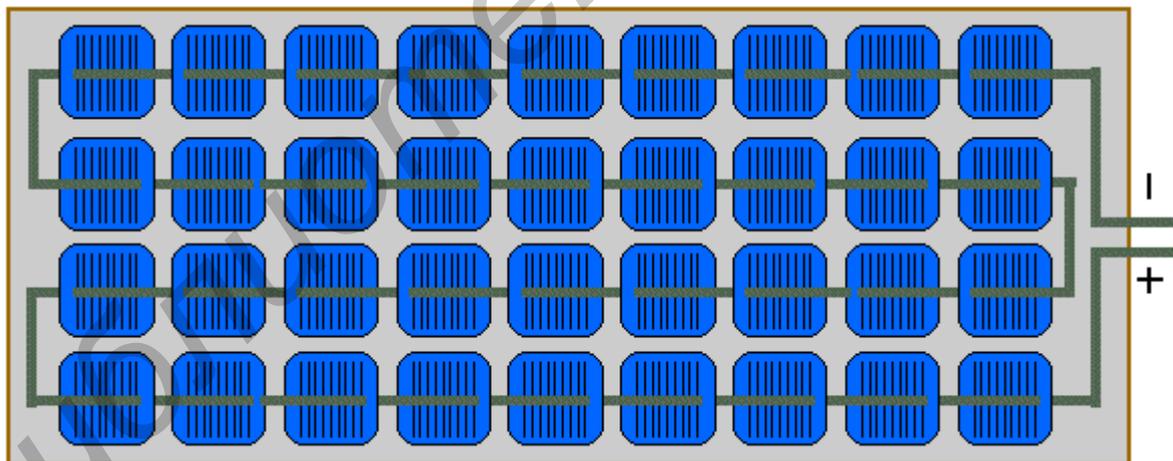


Рисунок 2.6 – Типовой фотоэлектрический солнечный модуль из 36 кремниевых ФЭЭ под 12-вольтовый аккумулятор

Простейшим фотоэлектрическим модулем является цепочка из последовательно включенных фотоэлектрических солнечных элементов. Также используют параллельное включение цепочек, получая так называемое последовательно-параллельное соединение.

На рисунке 2.7 показано соединение солнечных модулей последовательно-параллельным способом (3 последовательно соединенных блока, состоящих из 2 параллельно соединенных модулей).

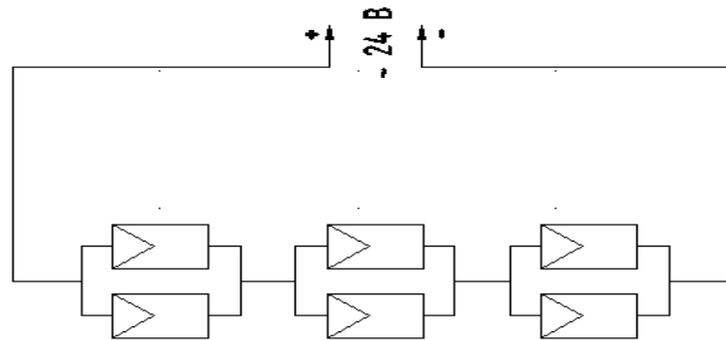


Рисунок 2.7 – Соединение солнечных модулей

При затенении одного модуля (или части элементов в модуле) в батарее при последовательном соединении возникает «эффект горячего пятна» – затененный модуль (элемент) начинает рассеивать всю производимую освещенными модулями (элементами) мощность, быстро нагревается и выходит из строя. Для устранения этого эффекта параллельно с каждым модулем (или его частью) устанавливают шунтирующий диод. Диоды необходимы при последовательном соединении более двух модулей. Принципиальная электрическая схема солнечной батареи представлена на рисунке 2.8.

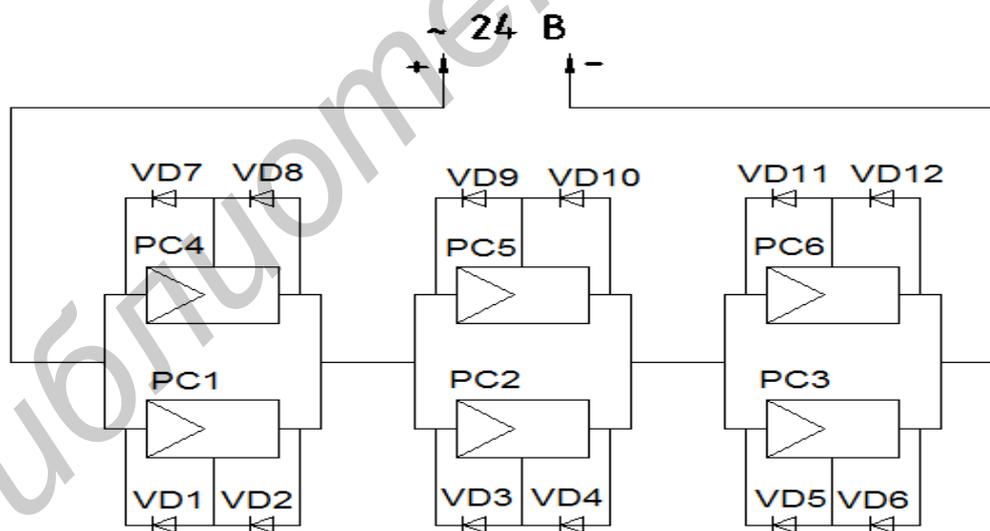


Рисунок 2.8 – Принципиальная электрическая схема солнечной батареи

2.2 ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

Для выполнения работы необходимы следующее оборудование и материалы.

- 1 Фотоэлектрический модуль МС50-4.
- 2 Магазин сопротивлений Р33.
- 3 Вольтметр В7-73/1 (2 шт.).

2.3 ХОД ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1 Получить у преподавателя задание на выполнение лабораторной работы.
- 2 На магазине сопротивлений Р33 установить сопротивление 9900 Ом.
- 3 Собрать схему фотоэлектрической установки для снятия нагрузочной характеристики (рисунок 2.9), предварительно настроив один из приборов В7-73/1 на измерение тока, а второй – на измерение напряжения.

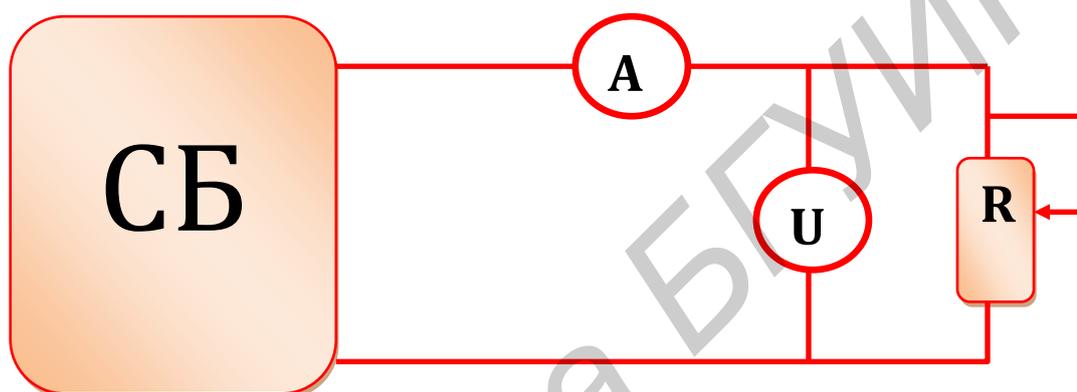


Рисунок 2.9 – Схема снятия ВАХ

- 4 Снять вольт-амперную характеристику солнечной батареи при перпендикулярном освещении СБ лампочкой 60 Вт и рассчитать значения мощности, отдаваемой в нагрузку, при фиксированных значениях напряжения, значения занести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Экспериментальные данные

U, В	I, А	R, Ом	P, Вт

Сделать около 20 измерений. Сначала отсчеты делать, уменьшая сопротивление нагрузки на 1000 Ом, а в диапазоне от 900 Ом до 100 Ом – уменьшая на 100 Ом. Определить оптимальный режим работы.

- 5 Повторить измерения по пункту 3.4 при освещении СБ лампочкой 40 Вт.
- 6 Повторить измерения по пункту 3.4 при освещении СБ лампочкой 60 Вт, и расположении батареи под углами 30°, 45° и 60°.
- 7 По результатам измерений построить графики и определить режим максимальной мощности.

2.4 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 1 Название работы.
- 2 Цель работы.
- 3 Назначение и краткое описание конструкции и работы узлов фотоэлектрической установки.
- 4 Задание на проведение экспериментальных исследований.
- 5 Результаты расчетов и измерений.
- 6 Выводы по результатам экспериментов.

2.5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Что собой представляет солнечный элемент?
- 2 Какие существуют разновидности СЭ?
- 3 Каковы основные элементы солнечного модуля?
- 4 В чем суть функции – поиск точки максимальной мощности?
- 5 Каковы основные элементы солнечной батареи?
- 6 При каких условиях снимаются ВАХ?
- 7 Как влияет температура на ВАХ СЭ?
- 8 Что определяет максимальное значение напряжения холостого хода СЭ?
- 9 Какие бывают электрические соединения солнечных модулей?
- 10 Для каких целей применяется шунтирующий диод в солнечных батареях?

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Фотоэлектрическое преобразование солнечной энергии / В. П. Василевич [и др.]. – Минск : Бестпринт, 2008. – 420 с.
- 2 Солнечная энергетика : учеб. пособие для вузов / В. И. Виссарионов [и др.]. – М. : Издат. дом «МЭИ», 2008. – 317 с.
- 3 Раушенбах, Г. Справочник по проектированию солнечных батарей / Г. Раушенбах ; пер. с нем. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 252 с.
- 4 Колтун, М. М. Оптика и метрология солнечных элементов / М. М. Колтун. – М. : Наука, 1985. – 280 с.

Лабораторная работа №3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, ВЫРАБАТЫВАЕМОЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

Цель работы: изучить алгоритм заряда аккумуляторной батареи в составе автономной фотоэлектрической системы с использованием перепрограммируемого контроллера с ШИМ-модуляцией.

3.1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

3.1.1 УСТРОЙСТВО И КОМПЛЕКТАЦИЯ АВТОНОМНОЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Автономные системы предназначены для электроснабжения передвижных объектов или объектов, удаленных от основных линий электропередач (в труднодоступных местах, куда затруднена или экономически невыгодна прокладка линий). Использование в таких условиях фотоэлектричества наиболее эффективно и оправдано, а стоимость 1 кВт·ч электроэнергии – значительно ниже. Мощность автономных систем – в пределах 0,01...100 кВт (схема такой станции приведена на рисунке 3.1).

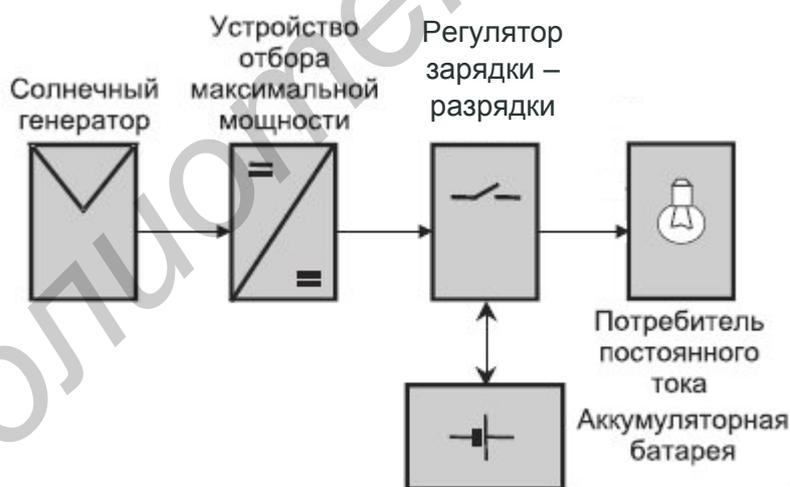


Рисунок 3.1 – Структурная схема автономной фотоэлектрической системы

В данной системе используются солнечные батареи на основе солнечных модулей MC-50-4, гелиевая тяговая аккумуляторная батарея, дистанционный монитор MORNINGSTAR RM-1 и контроллер заряда MORNINGSTAR SUNSAVER MPPT. Основные параметры этих компонентов приводятся ниже.

3.1.2 СОЛНЕЧНЫЙ МОДУЛЬ

В таблице 3.1 приведены данные по основным параметрам солнечного модуля российского производства, на базе которого собрана лабораторная солнечная батарея.

Таблица 3.1 – Основные параметры солнечного модуля МС-50-4 (Россия)

Тип	Рабочий ток, А	Рабочее напряжение, В	Пиковая мощность, Вт	Напряжение холостого хода, В	Габаритные размеры, мм
МС-50-4	3,2	15,5	50	21,4	1251×465×38

3.1.3 АККУМУЛЯТОРНЫЕ БАТАРЕИ

Для установки в фотоэлектрических системах рекомендуется использование следующих типов свинцово-кислотных АКБ:

- герметичные (необслуживаемые VRLA GEL и VRLA AGM);
- открытого типа (жидкостные, обслуживаемые).

Другие типы АКБ, такие как NiCad или 36-вольтовые АКБ, могут быть использованы с контроллерами TriStar при соответствующем компьютерном программировании особенных алгоритмов заряда.

АКБ закрытого типа представляют собой класс свинцово-кислотных АКБ с клапанным регулированием выделяемых газов (VRLA – Valve Regulated Lead – Acid). Основные характеристики данного класса АКБ – это внутренняя иммобилизация электролита и рекомбинация кислорода. По мере заряда выделяемый кислород рекомбинируется внутри элементов для предотвращения потерь воды.

Существует 2 типа закрытых АКБ, используемых в солнечных системах: AGM- и GEL-аккумуляторы.

3.1.3.1 AGM (Absorber Glass Mat)-аккумуляторы

В данных АКБ электролит находится в стеклопластиковых капсулах между свинцовыми пластинами. Для некоторых новых моделей AGM-АКБ рекомендовано напряжение заряда 14,7 В. Обычно рекомендуемое напряжение заряда для данных АКБ – 14,4 – 14,5 В.

AGM-АКБ более подходят для систем с неглубокими разрядами, нежели для использования в режимах ежедневного циклирования. Данный тип АКБ не рекомендуется выравнивать, так как при этом выделяемый и уходящий наружу через клапана газ не восполняется. Также при слишком высоких температурах может произойти вытекание электролита, а эксплуатация данных АКБ при температуре выше 33 °С может снизить срок их службы до 50 %.

Для данного типа АКБ важно не превысить их способность к рекомбинации кислорода. Оптимальная температура эксплуатации – от 5 до 35 °С.

3.1.3.2 GEL-аккумуляторы

Гелиевые АКБ в целом схожи с AGM. В гелиевых АКБ к электролиту примешаны специальные добавки на основе силикона для уменьшения его текучести. Для гелиевых АКБ важно не превышать напряжения заряда. При установке системы необходимо свериться с рекомендуемыми параметрами заряда, данными в руководстве по эксплуатации. Обычно напряжение заряда для гелиевых АКБ – 14,1 – 14,5 В. Гелиевые АКБ чувствительны к перезаряду.

Для обоих типов АКБ важным условием эксплуатации является 100 % рекомбинация газов внутри АКБ. Тем самым предотвращается потеря воды. Выравнивание не производится, однако время от времени может быть полезным кратковременный «ударный» заряд для балансировки потенциалов между индивидуальными элементами.

3.1.3.3 Прочие типы герметичных АКБ

Автомобильные «необслуживаемые» АКБ являются также аккумуляторами закрытого типа. Они здесь не рассматриваются, так как при использовании в солнечных системах их сроки эксплуатации очень непродолжительны.

Промышленные АКБ открытого типа (жидкостные, обслуживаемые или малообслуживаемые) поставляются на объект без электролита и заполняются им после установки. Малообслуживаемые АКБ оснащаются специальными рециркуляционными клапанами, которые позволяют проводить сервис один раз в год. Данный тип АКБ характеризуется значительно более длительными сроками эксплуатации и способностью переносить более глубокие и частые разряды. Периодическое выравнивание (эквализация) – заряд высоким напряжением – позволяет время от времени приводить АКБ к «новому» состоянию.

Промышленные малообслуживаемые АКБ необходимо устанавливать только в технических помещениях с нормальной вентиляцией. Из-за более высоких емкостей данные АКБ подходят для резервирования больших объектов.

В лабораторной работе используется гелиевая тяговая аккумуляторная батарея 24 В емкостью 120 А · ч, соединенная последовательно (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 – Последовательное соединение аккумуляторных батарей

Оптимальный алгоритм заряда показан на рисунке 3.3.

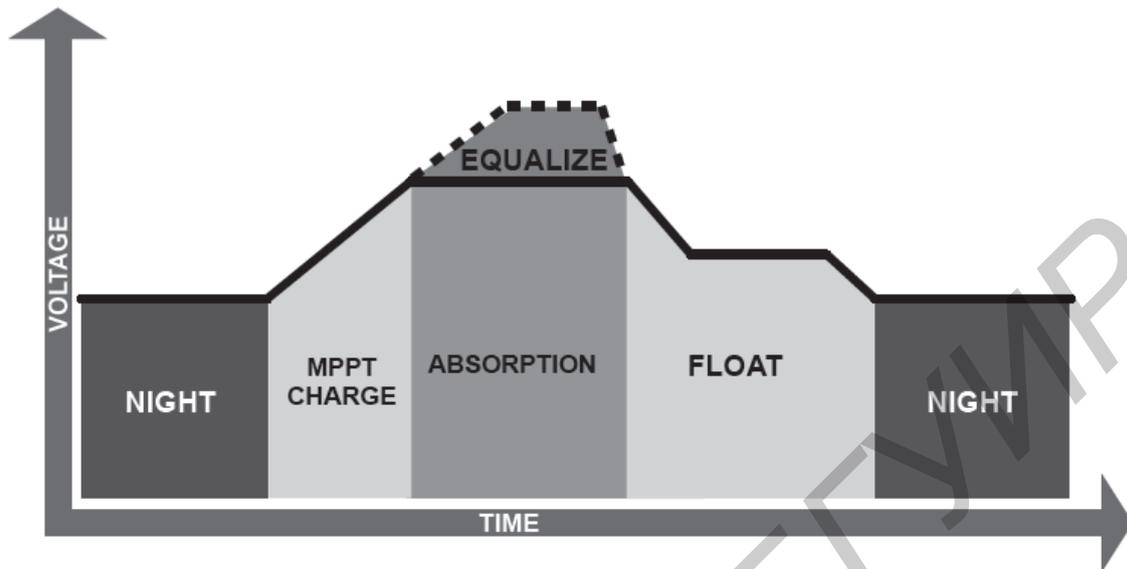


Рисунок 3.3 – Оптимальный алгоритм заряда

MPPT CHARGE (ЗАРЯД) – в этой стадии АКБ принимает весь заряд от солнечных панелей.

ABSORPTION (ПОГЛОЩЕНИЕ) – при достижении этой стадии контроллер уменьшает напряжение и ток заряда для предотвращения нагрева и выделения газов. В этой стадии АКБ приближается к своему полному заряду.

FLOAT (ПОДДЕРЖКА) – в данной стадии АКБ находится в режиме поддержки заряда (еще называемом режимом подзаряда).

EQUALIZE (ВЫРАВНИВАНИЕ) – данный режим используется для «встряхивания» АКБ открытого типа более высоким напряжением. Процесс предотвращает избыточную сульфатацию пластин, а также выравнивает неравномерный заряд между отдельными капсулами.

3.1.4 УСТРОЙСТВО ОТБОРА МАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ И РЕГУЛЯТОР ЗАРЯДКИ – РАЗРЯДКИ

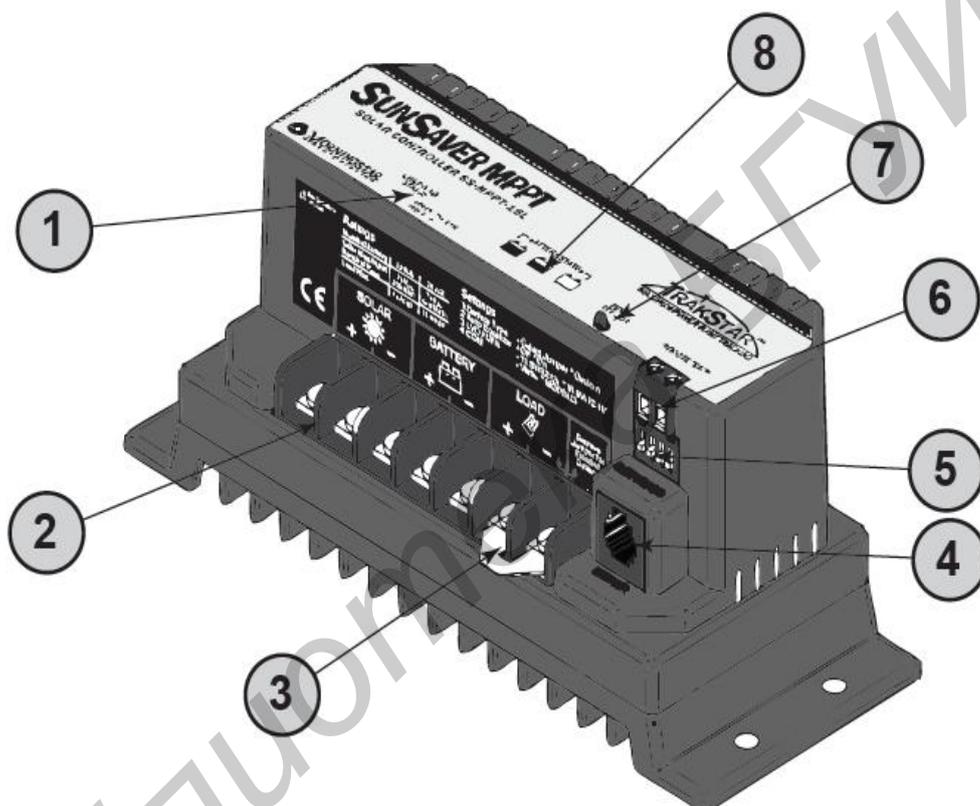
Устройство отбора максимальной мощности и регулятор зарядки – разрядки собраны в виде моноблока – контроллера заряда, обладающего функцией поиска точки максимальной мощности (Maximal Power Point Tracking – MPPT). Он на завершающей стадии заряда использует так называемую широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) тока заряда, или английская аббревиатура PWM (Pulse Width Modulation). При этом возможен заряд АКБ до 100 %. Стадии заряда АКБ можно описать так:

- АКБ получает весь ток, поступающий от солнечных модулей. С течением времени напряжение на АКБ возрастает;

- ШИМ-заряд. По мере заряда АКБ (возрастании напряжения) ток уменьшается. Контроллер начинает поддерживать постоянное напряжение за счет широтно-импульсной модуляции тока заряда. Это предотвращает перегрев батареи;

- поддерживающий заряд. Когда АКБ полностью заряжена, напряжение уменьшается. Батарея поддерживается в заряженном состоянии.

Контроллер заряда MORNINGSTAR SUNSAVER MPPT имеет вид, показанный на рисунке 3.4.



1 – светодиодный индикатор (показывает состояние АКБ, а также состояние ошибки подключения солнечной батареи); 2 – блок терминалов для подсоединения солнечных панелей, АКБ и нагрузки; 3 – переключка, используемая для выбора типа АКБ; 4 – коннектор для подключения выносного дисплея или компьютера; 5 – переключатели режимов работы контроллера;

6 – терминалы подключения дистанционного датчика температуры RTS (опция); 7 – встроенный температурный датчик, используется при отсутствии RTS; 8 – индикаторы состояния АКБ, показывающие приблизительный заряд АКБ, а также системные ошибки

Рисунок 3.4 – Общий вид контроллера

Точки заряда АКБ (при 25 °С) представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Точки заряда АКБ (при 25 °С)

Стадия	GEL	Закрытый тип	AGM	Открытый тип
Абсорбция	14,0 В	14,1 В	14,3 В	14,4 В
Поддержка	13,7 В	13,7 В	13,7 В	13,7 В
Время до под- держки	3 часа	3 часа	3 часа	3 часа
Напряжение выравнивания	Нет	Нет	14,5 В	14,9 В
Время вырав- нивания	Нет	Нет	3 часа	3 часа
Период вы- равнивания	Нет	Нет	28 дней	28 дней
Максимальное напряжение заряда ¹⁾	15 В/30 В	15 В/30 В	15 В/30 В	15 В/30 В
Отключение по низкому напряжению ²⁾	11,5 В/11,0 В	11,5 В/11,0 В	11,5 В/11,0 В	11,5 В/11,0 В
Обратное включение ²⁾	12,6 В/12,1 В	12,6 В/12,1 В	12,6 В/12,1 В	12,6 В/12,1 В
¹⁾ Не компенсируется по температуре.				
²⁾ Устанавливается переключателем, не компенсируется по температуре.				

Электрическая спецификация:

- номинальное напряжение: 12 или 24 В;
- макс. ток заряда АКБ: 15 А;
- рабочий диапазон напряжений АКБ: 7 – 36 В;
- макс. напряжение по входу солнечной панели: 75 В;
- номинальная мощность: 200 Вт при 12 В и 400 Вт при 24 В;
- собственное потребление: 35 мА;
- точность: напряжение – 1,0 % и сила тока – 2,0 %;
- защита по проходящему току: 4 × 1500 Вт;
- коннектор РС: RJ-11.

Спецификация по заряду АКБ:

- алгоритм заряда: 4 стадии;
- температурная компенсация: минус 5 мВ / °С / cell;
- диапазон температурной компенсации: минус 30 °С ... плюс 60 °С;
- индикация заряда АКБ представлена в таблице 3.3.

Физическая спецификация:

- температура использования: минус 40 °С ... плюс 60 °С;
- температура хранения: минус 55 °С ... плюс 100 °С;

- влажность: 100 %;
- корпус: стандарт IP10 (только для помещения);
- вес: 0,6 кг;
- терминалы: до 16 кв. мм.

Таблица 3.3 – Индикация заряда АКБ

Цвет	Падающее напряжение, В	Возрастающее напряжение, В	Цвет
Зеленый→Желтый	12,1/24,2	13,1/26,2	Желтый→ Зеленый
Желтый→Красный (мигающий)	11,7/23,4	12,6/25,2	Красный (мигающий)→ Желтый
Красный (мигающий)→Красный	11,5/23,0	12,6/25,2	Красный→ Красный (мигающий)

Общие замечания по установке контроллера:

- будьте осторожны при работе с АКБ, в особенности с АКБ открытого типа;
- пользуйтесь только изолированными инструментами;
- во время заряда АКБ могут выделять взрывоопасные газы. Убедитесь, что в помещении есть вентиляция;
- не устанавливайте контроллер в помещении, где может быть влага;
- незатянутые или ржавые контакты в некоторых случаях могут привести к возгоранию;
- для хорошего контакта используйте надлежащие наконечники для проводов;
- используйте только свинцово-кислотные или никель-кадмиевые АКБ.

3.1.4.1 Конфигурация контроллера

Для установки параметров контроллера используются переключки 3 и DIP-переключатели 5 (см. рисунок 3.4).

Четыре типа АКБ устанавливаются следующей комбинацией:

1 Тип АКБ Переключки – переключатель DIP-1:

- GEL1 – Вставлена ON (↑) Закрытый тип – Вставлена OFF (↓);
- AGM1 – Снята ON (↑) Открытый тип – Снята OFF (↓).

Для данного типа АКБ параметры заряда могут быть запрограммированы на особые значения.

2 Контроль нагрузки:

- DIP-2 OFF (↓) LVD = 11.50 V, LVR = 12.60 V;
- DIP-2 ON (↑) LVD = 11.00 V, LVR = 12.10 V.

Для данного типа АКБ параметры заряда могут быть запрограммированы на особые значения.

3 Автоматическое выравнивание:

С помощью данной функции можно включить или выключить автоматический запуск процесса выравнивания, который будет запускаться каждые 28 дней, а также в случае сильного разряда АКБ в предыдущую ночь. Выравнивание используется ТОЛЬКО для АКБ открытого типа.

- DIP-3 OFF (↓) Автоматическое выравнивание выключено;

- DIP-3 ON (↑) Автоматическое выравнивание включено.

4 Коммуникация контроллера с дистанционным дисплеем или PC2:

- DIP-4 OFF (↓) Используется Morningstar METER (дисплей);

- DIP-4 ON (↑) Используется соединение с PC (протокол MODBUS).

Необходим Morningstar PC Meterbus Adapter (Model: MSC) (опция).

3.1.4.2 Установка контроллера

Контроллер необходимо устанавливать на вертикальной поверхности, защищенной от прямых солнечных лучей, высокой температуры и воды. Над и под контроллером необходимо оставить как минимум 15 см свободного пространства для беспрепятственной циркуляции воздуха.

Защита.

1 Перегрузка по входу солнечных панелей

Контроллер ограничивает ток, идущий от солнечных панелей на АКБ 15 А. Если к контроллеру подключена более мощная солнечная панель, то ее выход по току будет ограничен. (Индикации нет).

2 Перегрузка по подключенной нагрузке (BATTERY STATUS Красный, желтый, зеленый чередуются).

В случае если нагрузка потребляет более 15 А, контроллер ее отключит. Чем больше нагрузка, тем быстрее она будет отключена. Небольшая перегрузка отключится в течение нескольких минут.

Контроллер сделает 2 попытки подключения нагрузки заново – каждая примерно через 10 секунд.

Если перегрузка остается, контроллер не даст ток на нагрузки до тех пор, пока не будет отключена и подключена заново АКБ.

3 Короткое замыкание в цепи солнечных панелей (CHARGING STATUS не горит).

Заряд АКБ возобновится после устранения короткого замыкания.

4 Короткое замыкание в цепи нагрузки (BATTERY STATUS Красный, желтый, зеленый чередуются).

Контроллер защищен от короткого замыкания в цепи нагрузки. После 2 неудачных попыток подключения, контроллер перейдет в защиту и отключит нагрузку до «перезагрузки» путем отключения и подключения заново АКБ.

5 Превышение напряжения солнечных панелей (CHARGING STATUS Красный мигает).

В случае если напряжение солнечных панелей превышает 75 В, контроллер не сможет подключиться к ним до тех пор, пока напряжение не снизится.

6 Обратная полярность АКБ.

Контроллер полностью защищен от неправильного подключения АКБ и не выходит из строя. (Индикации нет, контроллер не включается).

7 Неисправность встроенного датчика температуры (CHARGING STATUS Красный горит постоянно).

В данной ситуации контроллер перестает заряжать АКБ, из-за невозможности температурной компенсации. Данная ошибка не может быть исправлена.

8 Неисправность внутреннего датчика температуры радиатора (CHARGING STATUS Красный горит постоянно).

Данная ошибка не может быть исправлена.

9 Слишком высокая температура (BATTERY STATUS Красный, желтый чередуются).

Контроллер перегрелся, нагрузка отключена. Нагрузка будет автоматически подключена при достижении нормальной рабочей температуры.

10 Дистанционный датчик температуры (BATTERY STATUS Красный, желтый – Зеленый, желтый чередуются).

Дистанционный датчик температуры неисправен или отключился. Проверьте соединение. Для продолжения работы контроллера без RTS отключите и включите заново питание (АКБ).

3.1.4.3 Светодиодная индикация

Индикация ошибок CHARGING STATUS (см. рисунок 3.4) представлена в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Индикация ошибок CHARGING STATUS

Ошибка	Индикация
Отсоединение солнечной панели из-за превышения напряжения	Красный мигает
Короткое замыкание на температурном датчике	Красный мигает
Температурный датчик отсоединен	Красный мигает
Встроенный температурный датчик поврежден	Красный горит постоянно
Поврежден датчик температуры радиатора	Красный горит постоянно
Повреждены полевые транзисторы на входах контроллера	Красный горит постоянно
Ошибка внутренней схемы	Красный горит постоянно

Индикация состояния контроллера CHARGING STATUS представлена в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Индикация состояния контроллера
CHARGING STATUS

Цвет	Индикация	Состояние
Нет	Короткое мигание каждые 5 с	«Ночь»
Зеленый	Горит, прерываясь через 5 с	Заряжает
Красный	Мигает	Ошибка
Красный	Горит, прерываясь через 5 с	Фатальная ошибка

Индикация заряда АКБ BATTERY STATUS представлена в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Индикация заряда АКБ BATTERY STATUS

Цвет светодиода	Индикация	Состояние АКБ	Состояние нагрузки
Зеленый	Быстро мигает (2 раза в 1 с)	Выравнивающий заряд	Нагрузка работает
Зеленый	Мигает (1 раз в 1 с)	Поглощающий заряд	Нагрузка работает
Зеленый	Медленно мигает (1 раз в 2 с)	Поддержка	Нагрузка работает
Зеленый	Горит постоянно	Почти заряжена	Нагрузка работает
Желтый	Горит постоянно	Наполовину заряжена	Нагрузка работает
Красный	Мигает (1 раз в 1 с)	Разряжена	Предупреждение об отключении
Красный	Горит постоянно	Полный разряд, отключение	Отключение по низкому напряжению

Заряд АКБ определяется только на основе напряжения на терминалах, что является только приблизительным показателем. Для определения реальной остаточной емкости АКБ необходимо использовать специализированные приборы с шунтом постоянного тока и датчиками токов.

Индикация ошибок BATTERY STATUS представлена в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Индикация ошибок BATTERY STATUS

Ошибка	Индикация
Отключение нагрузки из-за превышения напряжения	Красный, зеленый чередуются
Отключение контроллера из-за превышения температуры	Красный, желтый чередуются
Ошибка дистанционного датчика температуры RTS	Желтый, красный – зеленый, желтый чередуются
Ошибка подключения	Зеленый, красный, желтый чередуются
Перегрузка по току на нагрузку	Желтый, красный, зеленый чередуются
Короткое замыкание в нагрузке	Зеленый, красный, желтый чередуются

Продолжение таблицы 3.7

Ошибка	Индикация
Ошибка установочных параметров	Зеленый, желтый, красный мигают
Ошибка самодиагностики	Красный, желтый, зеленый чередуются

3.1.5 ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОР MORNINGSTAR RM-1 В СОСТАВЕ КОНТРОЛЛЕРА ЗАРЯДА

Общий вид монитора Morningstar RM-1 представлен на рисунке 3.5



Рисунок 3.5 – Общий вид монитора

На рисунке 3.6 показано назначение индикаторов дисплея.

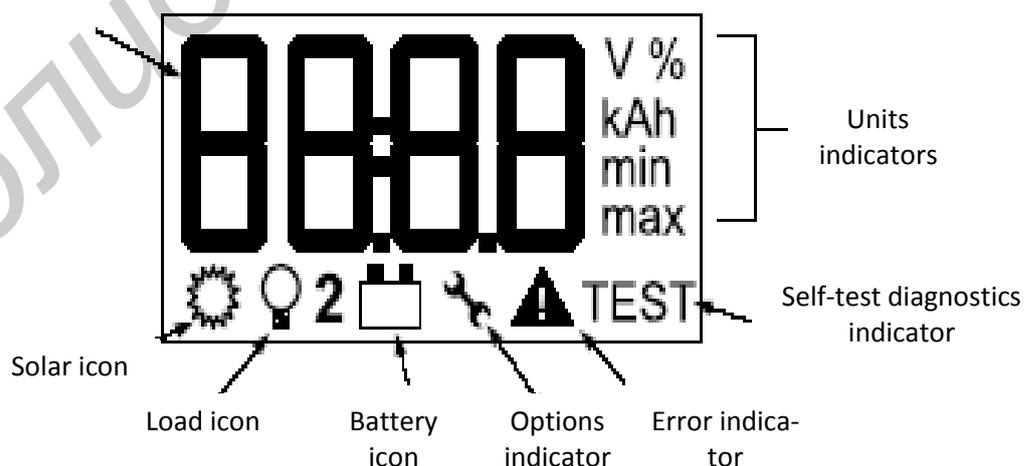


Рисунок 3.6. – Назначение индикаторов дисплея монитора

Дисплей – четырехзначный цифровой дисплей, показывает значения напряжения, силы тока и температуры.

Solar icon – индикатор солнца.

Если данный индикатор активен, то это означает, что отображаемая цифровая информация относится ко входу солнечных панелей.

Load icon – индикатор нагрузки.

Если данный индикатор активен, то это означает, что отображаемая цифровая информация относится к нагрузке.

Battery icon – индикатор АКБ.

Если данный индикатор активен, то это означает, что отображаемая цифровая информация относится к АКБ.

Примечание – Цифра 2 означает отображение информации по второй подключенной АКБ, панели или нагрузке.

Options icon – индикатор настроек.

Индикатор отображается при входе в меню настроек.

Error indicator – индикатор состояния ошибки.

Self-test diagnostics indicator – индикатор состояния самодиагностики.

Units indicators – единицы измерения.

Меню настроек:

- для входа в меню настроек удерживайте все три кнопки нажатыми в течение 5 с, после чего появится индикатор настроек;
- нажатие кнопки С осуществляет переход к следующей настройке;
- нажатие стрелок изменяет настройку;
- для выхода из меню настроек нажмите кнопку С.

Возможные настройки:

- изменение единиц температуры (С или F);
- время работы подсветки (постоянно выкл., постоянно вкл., 5 с после последнего нажатия, 30 с после последнего нажатия);
- возвращение к последнему просмотренному показанию (вкл. или выкл.).

Для самодиагностики нажмите и удерживайте кнопку С в течение 5 с. После 5 с все светодиоды загорятся. После того как вы отпустите кнопку, начнется процесс самодиагностики. В течение этого процесса показывается информация по каждому шагу диагностики.

Для сброса данных держите обе кнопки-стрелки нажатыми в течение 2 с.

Возможные неисправности.

1 Дисплей ничего не показывает.

Проверьте подключение кабеля RJ11, проверьте, что подключенный контроллер или инвертор получает питание от АКБ.

2 ЖК индикация нечеткая (серая).

Проверьте напряжение АКБ, минимальное напряжение, необходимое для работы дисплея, 8 В. Экстремально холодная температура может также быть причиной этого состояния.

3 Питание есть, но дисплей ничего не показывает.

Возможно, неисправен кабель.

4 Грязь под прозрачным окошком дисплея.

5 Кнопки не работают время от времени или вообще не работают.

Возможная причина – засорение. Разберите дисплей для чистки. Используйте влажную салфетку или салфетку, смоченную спиртом. Не используйте растворители. Перед сборкой дайте просохнуть.

3.1.5.1 Коды ошибок

Инвертор SureSine-300

Ошибки:

E:--N нет ошибок

E:01N инвертор перезагружается

E:02N перегрузка

E:04N ошибка внутреннего программного обеспечения

E:05N отключение по высокому напряжению АКБ

E:06N отключение по перегреву

E:07N изменены DIPN

E:08N ошибка обновления прошивки N

Предупреждения:

A:--N нет предупреждений

A:01N температурный датчик радиатора неисправен

A:02N К.З. температурного датчика радиатора

A:04N предупреждение о перегреве

Контроллер SunSaver-MPPT

Ошибки:

E:--N нет ошибок

E:01N перегрузка

E:02N неисправность MOSFET на входе

E:03N ошибка внутреннего программного обеспечения

E:04N отключение по высокому напряжению АКБ

E:05N отключение по высокому напряжению панелей

E:06N редактируется прошивка

E:07N К.З. температурного датчика N

E:08N температурный датчик отсоединен

E:09N неисправен встроенный температурный датчик

E:17N внешнее К.З.

E:18N перегрузка по нагрузке

E:19N нагрузочные MOSFET неисправны

E:21N отключение нагрузки по высокому напряжению АКБ

E:22N отключение по перегреву

Предупреждения:

A:--N нет предупреждений

A:01N температурный датчик не подключен (всегда при отсутствии RTS)

A:02N К.З. температурного датчика
A:03N предупреждение о перегреве
A:04N температурный датчик радиатора неисправен
A:05N К.З. температурного датчика радиатора
A:06N предупреждение о перегреве радиатора
A:07N превышение лимита тока MPPT
A:11N потеря калибровки
A:12N неисправность подключения температурного датчика
A:15N неправильное подключение
A:16N FET открыты
A:17N P12
A:18N Превышение лимита по силе тока

3.1.5.2 Запись данных SunSaver-MPPT

Нажать и удерживать 5 с одновременно кнопки С и стрелку «вправо». Далее перемещение вниз по строкам с помощью кнопки С, перемещение по показаниям с помощью стрелок.

Данные:

- установка дней от «сегодня»;
- максимальное напряжение АКБ;
- минимальное напряжение АКБ;
- количество ампер-часов, аккумулированных от солнца;
- количество ампер-часов, потребленных нагрузкой;
- список ошибок на просматриваемый день;
- список предупреждения на просматриваемый день.

3.2 ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

Для выполнения работы необходимо следующее оборудование.

- 1 Батарея из шести солнечных модулей типа MS-50-4 с суммарной пиковой мощностью 300 Вт.
- 2 Гелиевая тяговая аккумуляторная батарея напряжением 24 В, емкостью 120 А · ч.
- 3 Контроллер типа SS-MPPT-15L.
- 4 Информационный дисплей типа RM-1.
- 5 Соединительные кабели.
- 6 Вольтметр В7-73/1.

3.3 ХОД ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1 Изучить состав, устройство и назначение основных узлов и деталей фотоэлектрической установки.

2 Собрать фотоэлектрическую установку в соответствии с нижеприведенными рекомендациями, подключив предварительно к контроллеру дистанционный монитор Morningstar RM-1.

Подключение контроллера

Внимание! Подключайте контроллер в следующей последовательности. Заземление рекомендуется, но не является обязательным.

Максимальная суммарная сила тока нагрузки не должна превышать 15 А. Убедитесь, что все подключаемые провода хорошо затянуты на клеммах.

ШАГ 1. Подключение нагрузки (рисунок 3.7).

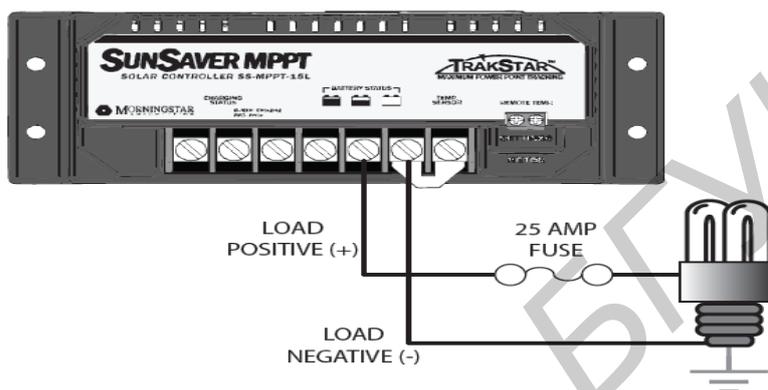


Рисунок 3.7 – Схема подключения нагрузки

С выводов LOAD на нагрузку поступает постоянный ток. Рекомендуется использование предохранителя (пока не вставляйте предохранитель!).

ШАГ 2. Подключение АКБ (рисунок 3.8).

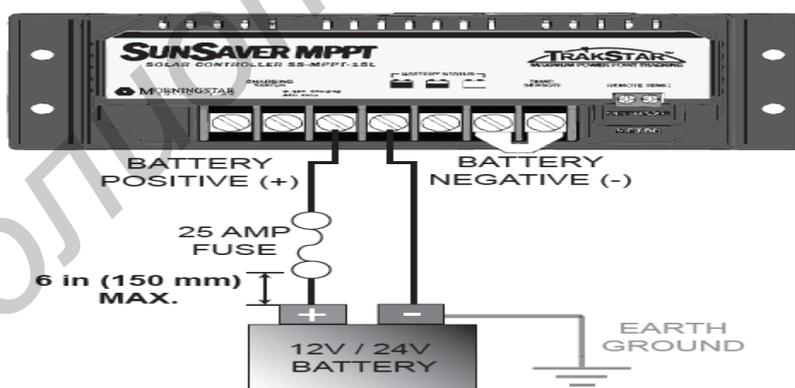


Рисунок 3.8 – Схема подключения АКБ

Перед подключением АКБ к контроллеру замерьте напряжение на ее клеммах с помощью вольтметра. Минимальное напряжение, при котором контроллер будет работать, 7 В для 12-вольтовых или 15,5 В для 24-вольтовых систем. Предохранитель должен располагаться не далее чем 15 см от положительного вывода АКБ (пока не вставляйте предохранитель!).

ШАГ 3. Подключение солнечных модулей (рисунок 3.9).

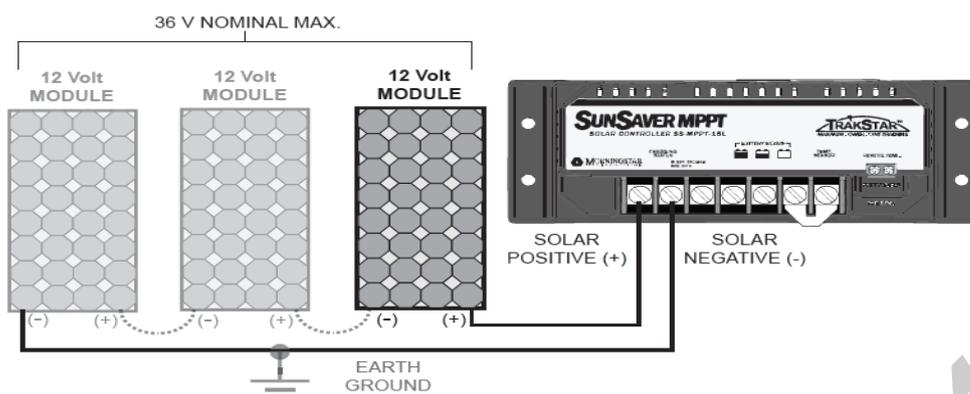


Рисунок 3.9 – Схема подключения солнечных батарей

К контроллеру могут быть подключены 12-, 24- или 36-вольтовые солнечные панели, причем их напряжение холостого хода не должно превышать 75 В (измерьте вольтметром). Номинальное напряжение на входе BATTERY контроллера должно быть выше номинального напряжения АКБ. Для 24-вольтовой системы должны быть использованы панели 24 или 36 В.

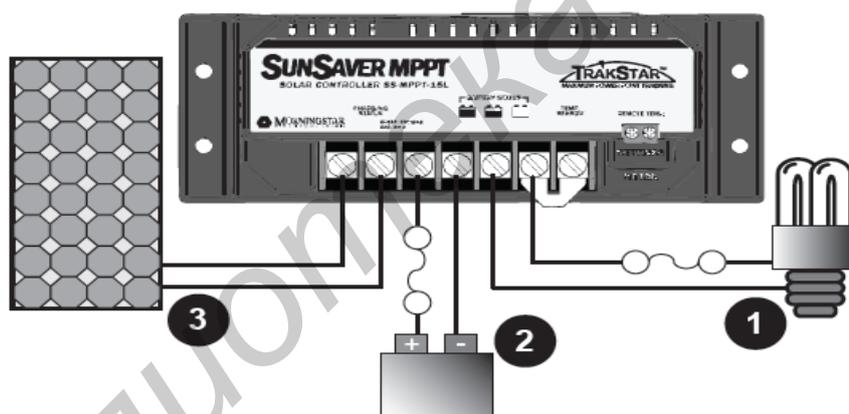


Рисунок 3.10 – Полная схема подключения

3 Экспериментально исследовать режимы работы фотоэлектрической установки.

- проверить установку параметров контроллера (используются переключки (3) и DIP-переключатели (5)) (см. рисунок 3.4);
- проверить в соответствии с пунктом 1.5 работу монитора Morningstar RM-1. Провести самодиагностику и необходимые настройки;
- проверить состояние индикаторов после включения нагрузки и привести результаты в отчете;
- выполнить измерения электрических параметров на клеммах контроллера.

лера с помощью вольтметра и сравнить полученные данные с показаниями монитора Morningstar RM-1;

4 По результатам измерений сделать вывод о работоспособности исследуемой системы.

3.4 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 1 Название работы.
- 2 Цель работы.
- 3 Назначение и краткое описание конструкции и работы узлов фотоэлектрической установки.
- 4 Результаты экспериментальных исследований.
- 5 Выводы по результатам экспериментов.

3.5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Что собой представляет автономная фотоэлектрическая система?
- 2 Какие лучше использовать аккумуляторные батареи для фотоэлектрических установок?
- 3 Какие бывают электрические соединения солнечных модулей и АКБ?
- 4 Зачем нужен контроллер заряда АКБ в автономной системе энергоснабжения?
- 5 Зачем используется широтно-импульсная модуляция (ШИМ) тока заряда АКБ в контроллерах?
- 6 Какой алгоритм заряда используют контроллеры зарядки – разрядки с ШИМ-модуляцией?
- 7 Какие основные характеристики контроллера заряда MORNINGSTAR SUNSAVER MPPT?
- 8 Какие основные характеристики и функции дистанционного монитора Morningstar RM-1?
- 9 Как произвести запись данных в SunSaver-MPPT?

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Фотоэлектрическое преобразование солнечной энергии / В. П. Василевич [и др.]. – Минск : Бестпринт, 2008. – 420 с.
- 2 Солнечная энергетика : учеб. пособие для вузов / В. И. Виссарионов [и др.]. – М. : Издат. дом «МЭИ», 2008. – 317 с.
- 3 Раушенбах, Г. Справочник по проектированию солнечных батарей / Г. Раушенбах ; пер. с нем. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 252 с.
- 4 Колтун, М. М. Оптика и метрология солнечных элементов / М. М. Колтун. – М. : Наука, 1985. – 280 с.

Лабораторная работа №4

МОНИТОРИНГ И УПРАВЛЕНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ

Цель работы: изучить процесс автоматизированного управления учебной фотоэлектрической системой на базе контроллера Morningstar ProStar PS-15 с использованием синусоидального DC/AC инвертора.

4.1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

4.1.1 УСТРОЙСТВО И КОМПЛЕКТАЦИЯ АВТОНОМНОЙ УЧЕБНОЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Автономные системы предназначены для электроснабжения передвижных объектов или объектов, удаленных от основных линий электропередач (в труднодоступных местах, куда затруднена или экономически невыгодна прокладка линий). Использование в таких условиях фотоэлектричества наиболее эффективно и оправдано, а стоимость 1 кВт·ч электроэнергии значительно ниже. Мощность автономных систем – в пределах 0,01...100 кВт (схема такой станции приведена на рисунке 4.1). Применение инвертора позволяет использовать обычные, питающиеся от сети, бытовые электроприборы.

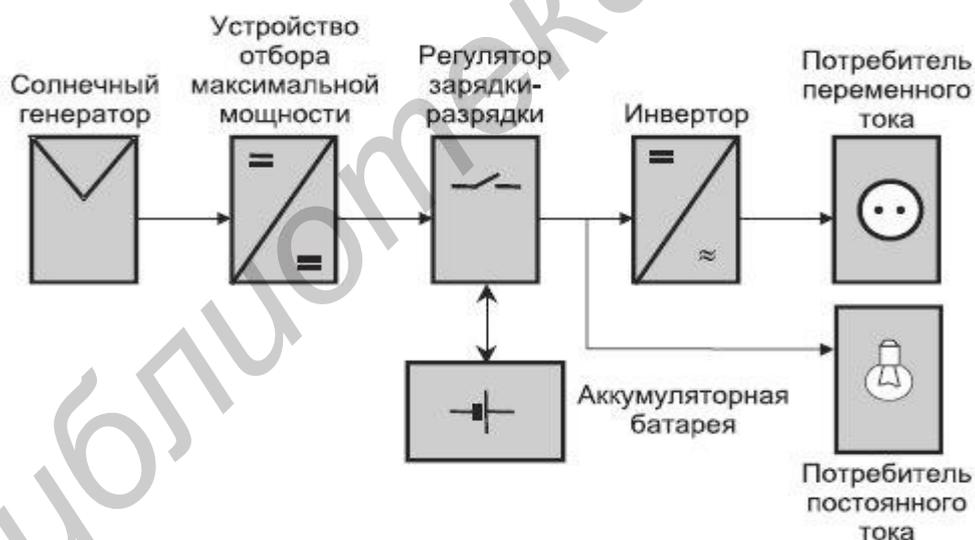


Рисунок 4.1 – Структурная схема автономной фотоэлектрической системы

4.1.2 СОЛНЕЧНЫЙ МОДУЛЬ

В таблице 4.1 приведены данные по основным параметрам солнечного модуля (Россия), на базе которого должна быть собрана лабораторная автономная фотоэлектрическая система.

Таблица 4.1 – Основные параметры солнечного модуля МС-50-4 российского производства

Тип	Рабочий ток, А	Рабочее напряжение, В	Пиковая мощность, Вт	Напряжение холостого хода, В	Габаритные размеры, мм
МС-50-4	3,2	15,5	50	21,4	1251×465×38

4.1.3 УСТРОЙСТВО ОТБОРА МАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ И РЕГУЛЯТОР ЗАРЯДКИ – РАЗРЯДКИ MORNINGSTAR PROSTAR PS-15

Для управления процессом зарядки аккумуляторной батареи в данной фотоэлектрической системе используется контроллер ProStar фирмы Morningstar. (рисунок 4.2.)



Рисунок 4.2 – Внешний вид контроллера Morningstar ProStar

Таблица 4.2 – Версии контроллера ProStar

Параметры	PS-15	PS-30	PS-15M-48V
Сила тока	15 А	15 А	15 А
Напряжение системы	12/24 В	12/24 В	45 В
Цифровой дисплей	Опция	Опция	Стандарт
Позиция заземления	Нет	Опция	Опция

Контроллер PROSTAR может работать при температуре от минус 30 до плюс 85 °С. Показания дисплея откалиброваны во время производства и являются точными в пределах нескольких процентов. Необходимо отметить, что при отсутствии температурного датчика показываемый напряжение АКБ будет отличаться от реального из-за падения напряжения на проводах.

4.1.3.1 Светодиодная индикация

CHARGING (Процесс заряда):

- горит непрерывно: процесс заряда происходит нормально (горит всегда при наличии солнечного освещения);
- не горит: не заряжается в темное время суток;
- не горит при наличии солнечного освещения: неправильная полярность или превышение силы тока.

BATTERY STATUS (Статус АКБ):

- зеленый горит непрерывно: заряд АКБ близок к 100 %;
- зеленый мигает: происходит процесс PWM-регулирования;
- желтый горит: заряд АКБ около 50 %;
- красный мигает: низкий заряд АКБ, предупреждение об отключении нагрузки по низкому напряжению АКБ;
- красный горит непрерывно: нагрузка отключена.

FAULT (Ошибка):

- З/Ж/К мигают одновременно: ошибка подключения АКБ;
- К – Ж мигают попеременно: отключение из-за перегрева;
- К – З мигают попеременно: отключение из-за недопустимо высокого напряжения;
- К/З – Ж мигают попеременно: отключение из-за короткого замыкания или перегрузки.

4.1.3.2 Цифровой дисплей и ручное отключение

Цифровой дисплей является дополнительной опцией контроллера ProStar. Данный раздел описывает информацию, которую высвечивает цифровой дисплей, а также дополнительные возможности, которые доступны при нажатии контрольной кнопки.

Цифровой дисплей показывает напряжение АКБ, силу тока от солнечных панелей, а также силу тока подключенной нагрузки. Все эти показания чередуются. Три светодиодных индикатора показывают, какое показание высвечивается в данный момент.

Контрольная кнопка может служить для ручного отключения: отключать нагрузку или одновременно нагрузку и солнечные панели. Повторное нажатие возвращает контроллер обратно в режим нормального функционирования.

LOAD OFF – короткое нажатие (менее 2 с) отключает нагрузку. АКБ остается под зарядом.

LOAD / SOLAR OFF – долговременное нажатие (более 2 с) отключает и нагрузку, и солнечные панели.

В случае ручного отключения светодиодный индикатор внутри кнопки будет гореть. Кроме этого, на дисплее отразится OFF напротив LOAD и/или SOLAR, означая соответствующий статус отключения.

4.1.3.2.1 Отражение статуса отключения на дисплее

- Lud – отключение из-за очень низкого напряжения АКБ (только нагрузка);
- Hud – отключение из-за очень высокого напряжения АКБ (нагрузка и солнечные панели);
- Hot – отключение из-за перегрева (нагрузка и солнечные панели);
- OCP – отключение из-за короткого замыкания или перегрузки по силе тока (нагрузка и перегрузка по солнечным панелям);
- 0.0 – короткое замыкание в контуре солнечных панелей.

4.1.3.2.2 Самодиагностика

В случае нажатия и удержания кнопки на время более 4 с контроллер переходит в режим самодиагностики. Процесс начнется после того, как вы отпустите кнопку.

Примечание – Нажатие кнопки во время самодиагностики может быть использовано для более быстрого перемещения по меню самодиагностики. Весь процесс занимает порядка 30 – 45 с. Нагрузка будет включена на 0,1 с и может «мигать» во время тестирования. Перегрузка или короткое замыкание может привести к перезапуску контроллера.

Список возможных ошибок:

- E01 – ошибка селектора выбора типа АКБ;
- E03 – не пройден тест напряжения (схема контроллера);
- E04 – ошибка тока солнечных панелей (схема контроллера, дроссели);
- E07 – дроссели выключены при нагрузке (соединение нагрузки, короткое замыкание в дросселях);
- E08 – ошибка тока нагрузки (схема контроллера, дроссели);
- E09 – дроссели включены при нагрузке (схема нагрузки, дроссели открыты);
- E10 – внутренняя температура контроллера слишком высокая;
- E11 – внутренняя температура контроллера слишком низкая;
- E12 – температура на внешнем датчике слишком высокая или слишком низкая;
- E13 – ошибка температурного датчика АКБ (напряжение ниже 5 В= или отсутствует соединение датчика).

4.1.3.3 Работа контроллера

4.1.3.3.1 Задачи оператора

Контроллер PROSTAR является полностью автоматическим контроллером системы генерации энергии от солнечных панелей. Данный контроллер

снабжен множеством электронных функций для защиты как самого контроллера, так и солнечных панелей. Процесс заряда АКБ происходит автоматически.

Вручную делается только следующее:

- установка;
- выбор АКБ;
- принудительное отключение;
- перезагрузка в случае если короткое замыкание в нагрузке не проходит само по себе;
- обслуживание.

4.1.3.3.2 Работа контроллера и его функции

Оператор солнечной системы должен знать следующие функции и особенности контроллера:

- в контроллере используются 100 % полупроводниковые схемы (механические реле не предусмотрены);
- при автоматическом заряде АКБ применяется алгоритм PWM;
- контроллер автоматически отключает нагрузку при достижении АКБ недопустимо низкого напряжения (LVD) для защиты АКБ от переразряда. Нагрузка автоматически включается после того, как напряжение АКБ поднимается выше значения LVD. В данной функции предусмотрена 4-минутная задержка;
- предупреждение о низком напряжении АКБ: красный светодиод начнет мигать при приближении к точке LVD, предупреждая о скором отключении;
- параллельная работа нескольких контроллеров. Несколько контроллеров PROSTAR могут работать параллельно без установки блокирующих диодов. Каждый контроллер должен иметь собственную, отдельную и независимую цепь солнечных панелей. Также мощность нагрузки должна быть не выше мощности системы из нескольких контроллеров;
- дополнительный генератор. Дополнительные источники энергии, такие как генератор, могут быть использованы для заряда АКБ и должны подключаться к АКБ напрямую. При заряде АКБ от таких источников отключать контроллер не требуется.

Примечание – Схемотехника, применяемая в контроллере, минимизирует шум. Корректное заземление предотвращает появления шума.

4.1.3.3.3 Защита

В контроллере PROSTAR предусмотрена следующая защита:

- короткое замыкание в солнечной панели или перегрузка – полностью автоматическое восстановление;
- короткое замыкание в нагрузке или перегрузка – 3 автоматические попытки восстановления (с промежутком в 10 с). Нагрузка должна быть выключена.

чена или отсоединена на время более 10 с для восстановления потенциала на терминалах нагрузки контроллера;

- «Обратная полярность» – неправильное соединение проводов «+» и «-» – полная защита;

- отключение АКБ – нагрузка защищена от «всплесков» напряжения;

- перегрев – сначала отключается солнечная панель, затем нагрузка. Восстановление происходит автоматически;

- недопустимо высокое напряжение АКБ – сначала отключается солнечная панель, затем – нагрузка. Восстановление происходит автоматически;

- недопустимо низкое напряжение АКБ – полное отключение и переход в статус LVD;

- ошибочный выбор АКБ – переходит на выбор гелевой АКБ, мигание светодиодов;

- неполадка в температурном датчике – переход на использование внутреннего датчика; переход на значение 25 °С при неисправности внутреннего датчика.

Предупреждение – При одновременном неправильном подключении АКБ «+» на «-» и коротком замыкании в нагрузке контроллер выходит из строя.

4.1.3.3.4 Осмотр и обслуживание

По меньшей мере два раза в год рекомендуется проводить следующую проверку контроллера.

- 1 Убедитесь в правильном выборе АКБ. Для этого поверните селектор и заново произведите выбор, считая количество миганий светодиодов.

- 2 Убедитесь, что потребление нагрузки и солнечного контура не превышает силу тока контроллера.

- 3 Подтяните все клеммы, устраните все возможные неполадки в проводке.

- 4 Проверьте крепление контроллера и его чистоту.

- 5 Убедитесь, что происходит нормальная вентиляция контроллера, и его вентиляционные отверстия ничем не заблокированы.

- 6 Проверьте контроллер на предмет загрязнения насекомыми и коррозии.

- 7 Убедитесь, что светодиодная индикация контроллера соответствует ситуации.

4.1.3.3.5 Специальные возможности

- 1 Дистанционный датчик температуры.

- 2 Контроллер PROSTAR может быть дополнен опциональным дистанционным датчиком температуры. Стандартная длина кабеля датчика – 7,6 м, но может быть до 30 м. Контроллер распознает температурный датчик автоматически.

3 Провода температурного датчика припаиваются к плате контроллера между сенсором температуры и зеленым светодиодом возле точки «J12».

4 Подавление шума.

5 Режим PWM значительно повышает эффективность заряда АКБ, поэтому выключение данного режима является крайней мерой. Если шум присутствует, отсоедините контроллер и снимите пластиковую крышку. Найдите вертикальный резистор в правом верхнем углу платы возле микроконтроллера. На плате это место обозначено «J11». Кусачками обрежьте один провод резистора. Теперь при заряде АКБ режим PWM не используется. В будущем данное соединение может быть восстановлено с помощью паяльника.

4.1.3.4 Тестирование и ошибки

В процессе самодиагностики может быть выявлена практически любая неисправность. Если процесс самодиагностики не выявил неисправностей в самом контроллере, то это с большой вероятностью означает неисправность в солнечных панелях, в АКБ или в нагрузке.

Для тестирования контроллера на работоспособность можно использовать лабораторный источник постоянного тока, подключаемый вместо солнечных панелей или АКБ. Во избежание порчи контроллера придерживайтесь следующих правил:

- сила тока источника не должна превышать указанную силу тока контроллера;
- установите напряжение источника тока не выше 15 В= (для 12-вольтовой версии), 30 В= (24-вольтовая версия) и 60 В= (48-вольтовая версия);
- используйте только один источник.

4.1.3.4.1 Возможные неисправности

Контроллер PROSTAR собран на полностью автоматическом производстве, оттестирован с помощью компьютеров и имеет высокую степень защиты. В случае неработоспособности системы прежде всего убедитесь в отсутствии неисправностей в других компонентах системы. Обычно контроллер PROSTAR не является причиной проблемы. Большинство проблем возникает в соединениях проводки, в АКБ, неспособных по той или иной причине держать нагрузку, или в неисправной нагрузке.

1 АКБ не заряжается:

- проверьте, горит ли светодиод CHARGING. Данный диод должен гореть при наличии солнечного освещения;
- проверьте правильность выбора типа АКБ;
- проверьте корректность соединений и подтяните их, если требуется. Проверьте полярность;

- замерьте напряжение открытого контура солнечных панелей (отключить от контроллера), убедитесь, что он в нормальных пределах. Если напряжение открытого контура нулевое или слишком низкое, проверьте наличие неисправностей в солнечном контуре;

- убедитесь, что потребление нагрузки не выше, чем генерация от солнечного контура;

- если не используется сенсор АКБ, падение напряжения между АКБ и контроллером может быть слишком большим. Это, пожалуй, самая распространенная причина недозаряда АКБ;

- проверьте состояние АКБ. Выясните, не теряет ли АКБ заряд в течение ночи без использования нагрузки. Если это так, то АКБ требует замены;

- измерьте напряжение от солнечного контура на терминалах контроллера в дневное время и сравните с напряжением АКБ. Если разница составляет не более 0,5 В=, то АКБ должна заряжаться. Если напряжение на терминалах входа от солнечного контура близко к напряжению открытого контура (около 20 В=), а напряжение АКБ низкое, то контроллер не заряжает и может быть неисправен. При проведении данного теста убедитесь, что контроллер не в режиме PWM-регулирования.

Примечание – Если АКБ не заряжается, измерьте напряжение на терминалах контроллера и сравните с напряжением на терминалах АКБ. Это нужно делать в пик дневного света во время полного заряда АКБ, в отсутствие PWM-регулирования. Если напряжение на терминалах контроллера на 1 В= выше, чем на терминалах АКБ, этот 1 В= будет мешать правильному заряду в режиме PWM, что отразится на недозаряде АКБ. Данная проблема решается подключением сенсора АКБ.

2 Напряжение АКБ слишком высокое:

- прежде всего проверьте температуру, при которой работает контроллер. Изменение температуры на каждые 15 °С приводит к изменению рабочего напряжения в режимах PWM-регулирования и выравнивания;

- проверьте правильность выбора типа АКБ;

- отсоедините солнечные панели и отсоедините плюсовой (+) кабель АКБ от клемм контроллера. Подождите несколько секунд и подсоедините кабель обратно (без подключения солнечных панелей). После запуска контроллера зеленый светодиод CHARGING не должен гореть. Замерьте напряжение на клеммах контроллера на входе солнечных панелей. Если на данных терминалах есть напряжение, и зеленый светодиод горит, контроллер неисправен.

3 Нагрузка работает плохо:

- проверьте, что все правильно подключено и нагрузка включена. Убедитесь, что все имеющиеся предохранители в порядке;

- проверьте подключения к АКБ на отсутствие слишком больших падений напряжения;

- проверьте светодиоды на контроллере. Если горит красный светодиод STATUS, это значит, что нагрузка отключена из-за недопустимо низкого

напряжения АКБ (LVD). Это нормальная защитная функция контроллера. Нагрузка будет вновь подключена после восстановления напряжения АКБ;

- если светодиоды мигают, нагрузка могла быть отключена по следующим причинам: короткое замыкание или перегрузка (К/З – Ж мигают попеременно), слишком высокая температура (К – Ж мигают попеременно), слишком высокий напряжение (К – З мигают попеременно);

- замерьте напряжение на клеммах контроллера на входе от АКБ (BATTERY). Если нет отключения из-за LVD, напряжение в норме, то нагрузка должна получать питание. Замерьте напряжение на клеммах контроллера к нагрузке (LOAD). Если напряжения нет, то контроллер неисправен.

4.1.4 ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ СИНУСНЫЙ ИНВЕРТОР Powersine PS600-12, PS800-24, PS800-48

Существуют различные типы инверторов, различающиеся по мощности, напряжению на стороне постоянного тока, форме выходного сигнала, со встроенным зарядным устройством и системой прямой подачи энергии (от другого источника переменного тока), с аналоговой или импульсной схемой и т. д. Они могут быть предназначены для работы в полностью автономных системах либо передавать электроэнергию непосредственно в сеть. Инвертор со встроенным зарядным устройством для подзаряда аккумуляторов при питании от сети и блоком слежения за сетевым напряжением называется блоком бесперебойного питания (БПИ). При отключениях электричества или скачках напряжения в сети блок бесперебойного питания автоматически переключается на электроснабжение от аккумуляторов. В зависимости от типа выходного сигнала инверторы делятся на:

- инверторы с синусоидальным выходным сигналом (рисунок 4.3);

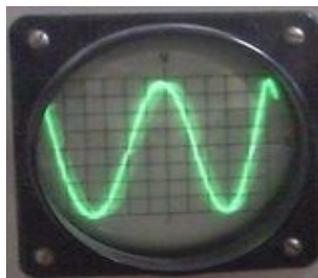


Рисунок 4.3 – Синусоидальный выходной сигнал

- инверторы, генерирующие квазисинусоидальный (модифицированный синусоидальный) выходной сигнал или меандр (рисунок 4.4).

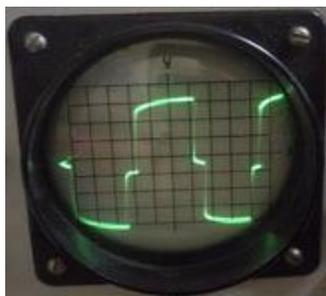


Рисунок 4.4 – Квазисинусоидальный выходной сигнал

Если форма напряжения инвертора синусоидальная, то от таких инверторов можно питать любую нагрузку переменного тока. Несинусоидальные инверторы с прямоугольной (меандр), ступенчатой или трапециевидной формой напряжения непригодны для некоторых видов нагрузки, например, асинхронных двигателей или трансформаторов.

Источниками постоянного тока в фотоэлектрической системе являются солнечные батареи или аккумуляторы. Инверторы, позволяющие запитать от аккумулятора любой домашний электроприбор: холодильник, компьютер, принтер, телевизор, микроволновку, кухонную электротехнику, дрель и т. д. являются, таким образом, наиболее значимыми компонентами в резервной или автономной системе энергоснабжения, своеобразным символом энергонезависимости. Имея инвертор и аккумуляторные батареи, потребителя можно обеспечить электричеством на срок от нескольких часов до нескольких суток.

При выборе инвертора для фотоэлектрической системы следует обратить внимание на следующие характеристики:

1) номинальная мощность ($P_{\text{ном}}$) показывает величину суммарной мощности нагрузок, которые допустимо подсоединять к инвертору для постоянного их питания. Номинальная мощность подбирается с запасом не менее 20–30 % от постоянной нагрузки;

2) пиковая мощность ($P_{\text{пик}}$) – это максимальное значение мощности, которое способен выдержать инвертор (весьма малый промежуток времени) при работе от аккумуляторной батареи. Некоторые электрические устройства – компрессоры некоторых марок холодильников, насосные установки, электродвигатели, имеют пусковые токи (стартовую мощность), в несколько раз превышающие их номинальное значение (в 2–7 раз). Несмотря на короткий пусковой период, инвертор недостаточной мощности не запустит такой прибор. Таким образом, максимальную мощность инвертора (пиковую мощность) необходимо подбирать, учитывая пусковые токи подключаемых приборов;

3) форма выходного сигнала переменного тока при его преобразовании (инвертировании) из постоянного. Как мы уже говорили, эта форма может быть синусоидальной и квазисинусоидальной. Качество инвертора определяется формой выходного сигнала. Синусоидальный сигнал практически идентичен форме напряжения в городской сети переменного тока и поэтому подходит для любой нагрузки переменного тока. Сигнал же прямоугольной формы (меандр) вызывает потери в мощности у некоторых нагрузок и их нагревание. Радиопомехи – еще один недостаток модифицированного синусоидального сигнала;

4) сила тока встроенного зарядного устройства (если оно есть) определяет значение максимальной емкости аккумуляторной батареи, которую может зарядить встроенное зарядное устройство (ЗУ);

5) возможность заряда разных типов аккумуляторных батарей. Следует учитывать различия в значениях напряжений для разных стадий заряда в батареях герметичного и открытого типов;

6) наличие спящего режима. Спящий режим представляет собой способность инвертора снижать собственное энергопотребление при отсутствии электронагрузок;

7) наличие встроенного реле переключений позволяет при пропадании внешней сети автоматически переходить на питание от аккумуляторной батареи. Инвертор с реле переключений имеет две линии переменного тока: «входящую» и «выходящую». К входу подключена внешняя сеть, которая передается на нагрузки через реле. «Выходящая» линия – это линия переменного тока от инвертора, к которой подключаются нагрузки переменного тока, питающиеся от АБ. При пропадании внешней сети реле срабатывает, переключая нагрузки на питание от аккумуляторной батареи. Инвертор без реле переключений содержит только одну «выходящую» линию;

8) наличие температурного датчика необходимо для регулирования напряжения заряда в зависимости от температуры окружающего воздуха. В холодное время года напряжение заряда должно быть выше, чем в летнюю жару. Без подобной корректировки заряда не будет обеспечиваться требуемый уровень заряда, аккумуляторы будут недозаряжаться или, наоборот, перезаряжаться, что негативно скажется на их работоспособности и может привести к преждевременному выходу их из строя.

Инверторы с синусоидальным выходным напряжением дороже, чем квазисинусоидальные, но высокая цена вполне компенсируется качеством получаемой энергии.

Почти все выпускаемые в настоящее время инверторы оснащены встроенным контроллером разряда, предотвращающим глубокий разряд АБ (около 1,8 В/элемент). Существуют модели и со встроенным контроллером заряда от солнечных батарей, не допускающим перезаряд АБ.

В солнечных электростанциях в последнее время особенно популярны сетевые инверторы, содержащие встроенный MPPT контроллер. Системы, содержащие такой сетевой инвертор, используются в системах, соединенных с сетью, при перегрузке электросетей. В этом случае высокое (до 780 В) напряжение от солнечной батареи подается на вход контроллера MPPT, позволяющего без использования АБ подавать переменное напряжение непосредственно в сеть.

Показанный на рисунке 4.5 профессиональный инвертор может быть использован для бесперебойного питания небольших нагрузок, таких, как: насосы и котлы отопления, системы контроля и автоматики зданий, аквариумное оборудование, охранные системы, компьютерное оборудование и т. п. 24-вольтовые и 48-вольтовые модели могут быть использованы с АКБ большой емкости или в системах альтернативной энергетики. Высокопрочный металлический корпус и надежная электроника гарантируют чрезвычайно высокий срок эксплуатации даже в самых тяжелых условиях.



Рисунок 4.5 – Внешний вид синусного инвертора

Характеристики:

- выход переменного тока – чистая синусоида;
- профессиональный металлический корпус;
- высокая пиковая мощность;
- высокая эффективность;
- защита от низкого/высокого напряжения АКБ;
- защита от перегрева, перегрузки и короткого замыкания;
- автоматический переход в спящий режим для уменьшения энергопотребления;

- вентилятор с изменяемой скоростью для тихой работы;
- возможность дистанционного управления вкл/выкл;
- кабели постоянного тока в комплекте.

Таблица 4.3 – Параметры инверторов типа PS

Наименование	PS600-12	PS800-24	PS800-48
Напряжение постоянного тока	12 В=	24 В=	48 В=
Выходная мощность (номинал)	500 ВА	600 ВА	600 ВА
Выходная мощность (30 мин)	550 ВА	750 ВА	750 ВА
Выходная мощность (пик)	1000 ВА	1200 ВА	1250 ВА
Выходное напряжение	230 В~ ± 2 %	230 В~ ± 2 %	230 В~ ± 2 %
Выходная частота	50 гц ± 0,05 %	50 гц ± 0,05 %	50 гц ± 0,05 %
Выходная форма волны	Синусоида	Синусоида	Синусоида
Гармонические искажения	< 5 %	< 5%	< 5%
Максимальная эффективность	92 %	93 %	94 %
Температурный диапазон	-20 °С до + 50°С	-20 °С до +50 °С	-20 °С до +50 °С
Подключение постоянного тока	2 × 1,5 м, 10 кв. мм	2 × 1,5 м, 10 кв. мм	2 × 1,5 м, 10 кв. мм
Подключение переменного тока	IEC-320	IEC-320	IEC-320
Размеры корпуса	228 × 113 × 163 мм	228 × 113 × 163 мм	228 × 113 × 163 мм
Вес	6,2 кг	6,2 кг	6,2 кг

4.2 ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

1 Батарея из шести модулей солнечных типа МС-50-4 с суммарной пиковой мощностью 300 Вт.

- 2 Гелиевая аккумуляторная батарея напряжением 24 В емкостью 120 А·ч.
- 3 Контроллер типа PS-15 PROSTAR.
- 4 Соединительные кабели.
- 5 Осциллограф.
- 6 Профессиональный синусный инвертор PS800-24.
- 7 Вольтметр В7-73/1.

4.3 ХОД ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1 Изучите состав, устройство и назначение основных узлов и деталей фотоэлектрической установки.

2 Ознакомьтесь с принципом работы и устройством контроллера ProStar фирмы Morningstar.

3 Ознакомьтесь с принципом работы и устройством инвертора DC/AC.

4 Разработайте блок-схему фотоэлектрической установки и согласуйте ее с преподавателем.

5 Соберите фотоэлектрическую систему на основе контроллера Morningstar ProStar –15, используя схему на рисунке 4.6 и нижеследующие рекомендации:

1) крепеж контроллера осуществлять только на вертикальной ровной поверхности. Необходимо оставить свободное место над и под контроллером для нормальной вентиляции;

2) убедитесь, что сила тока солнечных панелей не выше силы тока контроллера (по документации);

3) вольтметром измерьте напряжение на АКБ. В случае использования системы 24 В напряжение на АКБ не должно быть ниже 15,5 В. А в случае 12 В – не ниже 8 В. (Контроллер оснащен устройством автоматического определения номинального напряжения системы 12/24 В и при низком заряде аккумулятора определение произойдет не правильно);

4) для правильного алгоритма заряда задайте тип АКБ, поворачивая отверткой круглый селектор выбора АКБ. Есть 3 варианта:

1 – гелиевая АКБ;

2 – герметичная АКБ негелиевого типа;

3 – АКБ закрытого типа («Заливная» кислотная АКБ).

Выбранный тип АКБ будет подтвержден миганием светодиода Status (количество миганий соответствует типу АКБ). Индикатор статуса АКБ мигнет 1, 2 или 3 раза в зависимости от заданного типа АКБ. В случае если круглый селектор выбора АКБ не повернут в правильное положение, 3 светодиода будут мигать одновременно, показывая ошибку. Подключите АКБ к контактам контроллера при этом индикатор статуса АКБ должен моргнуть 1 раз (гелиевая АКБ), затем загорится индикатор заряда батареи (зеленый, желтый или красный). Продолжать дальнейшее подключение только в этом случае! Затяните клеммы соединения АКБ;

- 5) оцените состояние АКБ по светодиодам BATTERY STATUS;
- 6) подсоедините температурный датчик (если таковой имеется). Использование датчика необязательно, но рекомендовано в случае, если АКБ находятся в более чем 5 м от контроллера;
- 7) подсоедините солнечные панели. При наличии солнечного освещения индикатор заряда SOLAR будет светиться;
- 8) подсоедините нагрузку. В случае ошибки все индикаторы начнут мигать (нагрузкой служит инвертор);
- 9) наблюдайте за индикаторами и цифровым дисплеем во время подключения, чтобы убедиться в нормальном функционировании контроллера;
- 10) рекомендуется заземлить систему для последующей безопасной работы. **ВНИМАНИЕ!** Процедуру выполнять только с разрешения преподавателя!

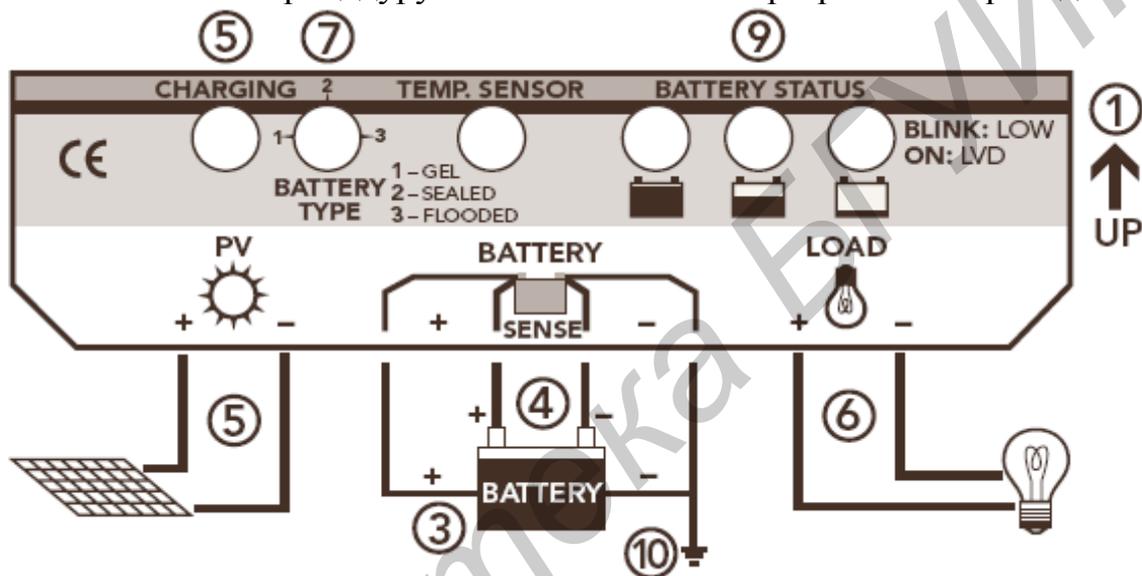


Рисунок 4.6 – Схема фотоэлектрической системы

6 Проверка.

После выполнения всех подключений убедитесь, что светодиоды показывают правильную работу контроллера. Если используется цифровой дисплей, убедитесь, что он показывает корректные значения напряжения и силы тока. При помощи цифрового дисплея можно провести самодиагностику:

- определите состояние процесса зарядки АКБ по светодиоду CHARGING;

- контролируйте светодиод SOLAR;

- проведите самодиагностику системы и запишите данные в отчет. Для самодиагностики необходимо нажать и удерживать кнопку PUSH более 4 с, затем отпустить кнопку. Для перехода между параметрами кратковременно нажимайте кнопку PUSH. В процессе самодиагностики отображаются параметры:

- 1) 12u – напряжение системы (12/24/48);

- 2) 15A – сила тока контроллера данной модели;

- 3) r1.5 – версия программного обеспечения;

- 4) E04 – тип обнаруженной ошибки (см. подпункт 4.1.3.2.2);
- 5) --- – показывается в случае отсутствия ошибок;
- 6) 25c – текущая температура контроллера;
- 7) 4rP – обнаружен датчик внешней температуры (если подключен);
- 8) 25c – температура на внешнем датчике;
- 9) SEp – обнаружен температурный сенсор АКБ (если подключен);
- 10) S-1 – показывает выбранный тип АКБ (1, 2 или 3);
- 11) J-1 – положение переключателя подавления помех (телеком);
- 12) End --- End – чередование в случае отсутствия ошибок;
- 13) End End – чередование при наличии ошибки.

7 Вольтметром измерьте напряжения на контактах солнечного элемента, АКБ и нагрузки. Сделайте выводы о работе системы.

8 Подключите осциллограф к выходу инвертора. Получите на экране осциллографа форму выходного сигнала. Перерисуйте в отчет. На том же графике изобразите форму идеального сигнала. Сделайте выводы о присутствии в сигнале посторонних гармоник и возможности подключения высокоточного оборудования.

4.4 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 1 Название работы.
- 2 Цель работы.
- 3 Назначение и краткое описание конструкции и работы узлов фотоэлектрической системы.
- 4 Задание на проведение экспериментальных исследований.
- 5 Результаты расчетов и измерений.
- 6 Выводы по результатам экспериментов.

4.5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Как определяется напряжение постоянного тока ФС?
- 2 Какие аккумуляторные батареи можно использовать для ФС?
- 3 Какие бывают типы инверторов?
- 4 Зачем нужен контроллер заряда АКБ в автономной системе энергоснабжения?
- 5 Каков порядок сборки системы на основе контроллера PS-15 PROSTAR?
- 6 Зачем нужна функция – поиск точки максимальной мощности (Maximal Power Point Tracking) в контроллерах?
- 7 Какие характеристики инвертора являются наиболее важными?

- 8 Как включить режим самодиагностики?
- 9 Зачем в системе необходим температурный датчик?
- 10 Какие неисправности могут возникать в фотоэлектрической системе на основе контроллера PS-15 PROSTAR?

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Фотоэлектрическое преобразование солнечной энергии / В. П. Василевич [и др.]. – Минск : Бестпринт, 2008. – 420 с.
- 2 Солнечная энергетика : учеб. пособие для вузов / В. И. Виссарионов [и др.]. – М. : Издат. дом «МЭИ», 2008. – 317 с.
- 3 Раушенбах, Г. Справочник по проектированию солнечных батарей / Г. Раушенбах ; пер. с нем. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 252 с.
- 4 Колтун, М. М. Оптика и метрология солнечных элементов / М. М. Колтун. – М. : Наука, 1985. – 280 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1 – Мощности электробытовых приборов

Электроприборы	Мощность, Вт	Электроприборы	Мощность, Вт
Телевизор	300	Обогрев пола	300
Микроволновая печь	1500	Факс-аппарат	100
Холодильник	500	Пылесос	1300
Электрочайник	2000	Синтезатор	100
Тостер	300	Компьютер	400
Телефонный аппарат	20	Видеомагнитофон	120
Сигнализация	20	Фен	200

Таблица А.2 – Температурный коэффициент

Температура в градусах		Коэффициент
Фаренгейта	Цельсия	
80	26,7	1,00
70	21,2	1,04
60	15,6	1,11
50	10,0	1,20
40	4,4	1,30
30	-1,1	1,40
20	-6,7	1,59

Таблица А.3 – Месячные и годовые суммы солнечной радиации в Минске

Расположение батареи	Горизонтальная панель, кВт·ч/м ²	Вертикальная панель, кВт·ч/м ²	Наклон панели 60° кВт·ч/м ²
Январь	16,4	21,3	20,6
Февраль	34,6	57,9	53,0
Март	79,4	104,9	108,4
Апрель	111,2	93,5	127,6
Май	161,4	108,2	166,3
Июнь	166,7	100,8	163,0
Июль	166,3	108,8	167,7
Август	130,1	103,6	145,0
Сентябрь	82,9	86,5	104,6
Октябрь	41,4	58,1	60,7
Ноябрь	18,6	38,7	34,8
Декабрь	11,7	25,8	22,0
Год	1020,7	908,3	1173,7

Таблица А.4 – Удельное сопротивление и сечение провода

Сечение провода, мм ²	Максимальный допустимый ток, А		Удельное сопротивление на жилу, Ом/м
	Количество проводов в кабеле		
	2-жильный	3-жильный	
1	2	3	4
1,0	11	9	0,018
1,5	13	12	0,012
2,5	18	16	0,0074
4,0	24	22	0,005
6,0	30	27	0,0031
10,0	40	37	0,0018
16,0	53	47	0,0012
25,0	60	53	0,00073
35,0	74	65	0,00049

Таблица А.5 – Начальные данные для расчета ФЭС

Вариант	Нагрузка переменного тока	Количество, шт	Время работы, ч/нед.	Нагрузка постоянного тока	Время работы, ч/нед.
1	Холодильник	1	168	Лампа, 60 Вт	21
	Телевизор	1	40		
	СВЧ-печь	1	1		
	Электрочайник	1	2		
2	Тостер	1	28	Лампа, 20 Вт	42
	Телефон	2	36		
	Сигнализация	1	15		
	Обогрев пола	1	34		
3	Факс-аппарат	2	23	Лампа, 60 Вт	42
	Пылесос	1	16		
	Синтезатор	1	25		
	Компьютер	1	14		
4	Видеомагнито-фон	1	48	Лампа, 20 Вт	21
	Фен	2	5		
	Телевизор	1	11		
	Пылесос	2	6		

Таблица А.6 – Характеристики солнечных модулей (номинальное напряжение для всех модулей 24 В)

Тип	Рабочий ток, А	Рабочее напряжение, В	Пиковая мощность, Вт	Напряжение холостого хода, В	Габаритные размеры, мм
МС-50-4	3,2	15,5	50	21,4	1251×465×38
MSW 150/75-24	4,4	34	150	42	1580×810×40
MSW 175/80-24	4,4	34	175	42	1580×810×40

Таблица А.7. – Особенности применения аккумуляторов.

Вариант	Номинальная емкость АКБ, А·ч	Тип солнечного модуля	Напряжение системы, В	Напряжение входное инвертора, В	Длина провода, м
1	120	МС-50-4	12	12	15
2	200	MSW 150/75-24	24	24	20
3	120	МС-50-4	12	12	15
4	200	MSW 175/80-24	24	24	20

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б.1 – Индикация состояния контроллера

Цвет	Индикация	Состояние
Нет	Короткое мигание каждые 5 с	«Ночь»
Зеленый	Горит, прерываясь через 5 с	«Заряжает»
Красный	Мигает	«Ошибка»
Красный	Горит, прерываясь через 5 с	«Фатальная ошибка»

Таблица Б.2 – Индикация ошибок контроллера

Ошибка	Индикация
Отсоединение солнечной панели из-за превышения напряжения	Красный мигает
Короткое замыкание на температурном датчике	Красный мигает
Температурный датчик отсоединен	Красный мигает
Встроенный температурный датчик поврежден	Красный горит постоянно
Поврежден датчик температуры радиатора	Красный горит постоянно
Поврежден полевой транзистор на входах контроллера	Красный горит постоянно
Ошибка внутренней схемы	Красный горит постоянно

Таблица Б.3 – Индикатор заряда АКБ

Цвет светодиода	Индикация	Состояние АКБ	Состояние нагрузки
Зеленый	Быстро мигает (2 раза в 1 с)	Выравнивающий заряд	Нагрузка работает
Зеленый	Мигает (1 раз в 1 с)	Поглощающий заряд	Нагрузка работает
Зеленый	Медленно мигает (1 раз в 2 с)	Поддержка	Нагрузка работает
Зеленый	Горит постоянно	Почти заряжена	Нагрузка работает
Желтый	Горит постоянно	Наполовину заряжена	Нагрузка работает
Красный	Мигает (1 раз в 1 с)	Разряжена	Предупреждение об отключении
Красный	Горит постоянно	Полный разряд, отключение	Отключение по низкому напряжению

Таблица Б.4 – Индикация ошибок АКБ

Ошибка	Индикация
Отключение нагрузки из-за превышения напряжения	Красный-Зеленый чередуются
Ошибка дистанционного датчика температуры RTS	Желтый/Красный – Зеленый/Желтый чередуются
Ошибка подключения	Зеленый/Красный – Желтый чередуются
Перегрузка по току на нагрузку	Желтый/Красный – Зеленый чередуются
Короткое замыкание в нагрузке	Зеленый/Красный – Желтый чередуются
Ошибка самодиагностики	Зеленый/Желтый/Красный мигают
Ошибка установочных параметров	Красный – Желтый – Зеленый чередуются

Учебное издание

Достанко Анатолий Павлович
Василевич Владимир Павлович
Русецкий Владислав Анатольевич
Собчук Николай Сергеевич

**ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ.
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

ПОСОБИЕ

Редактор *Е. И. Герман*
Корректор *Е. Н. Батурчик*
Компьютерная правка, оригинал-макет *А. А. Лысеня*

Подписано в печать 13.02.2014. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 4,07. Уч.-изд. л. 4,0. Тираж 100 экз. Заказ 17.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ № 0233010494371 от 16.03. 2009. ЛП № 0233010494175 от 03.08. 2009.
220013, Минск, П. Бровки, 6