

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухов Татьяна Александровна

Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского
федерального университета

Дата подписания: 12.09.2023 16:45:27

Уникальный программный ключ:

d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению лабораторных работ

по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии»

для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Передача и распределение электрической энергии в системах электроснабжения

(ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТ)

Содержание

№ п/п		Стр.
	Введение	3
1.	Лабораторная работа №1. Снятие воль-амперной характеристики фотоэлектрического модуля $U=f(I)$	4
2.	Лабораторная работа №2. Снятие энергетической характеристики фотоэлектрического модуля $P=f(I)$	13
3.	Лабораторная работа №3. Снятие зависимости тока короткого замыкания фотоэлектрического модуля от энергетической освещенности $I_K=f(E)$	22
4.	Лабораторная работа №4. Снятие зависимости тока короткого замыкания фотоэлектрического модуля от угла падения на его поверхность лучей света $I_K=f(\varphi)$	30
5.	Лабораторная работа №5. Снятие зависимости тока короткого замыкания фотоэлектрического модуля от его температуры $I_K=f(T)$	37
6.	Лабораторная работа №6. Снятие зависимости напряжения холостого хода фотоэлектрического модуля от его температуры $I_{XX}=f(T)$	44
7.	Лабораторная работа №7. Снятие зависимости максимальной мощности фотоэлектрического модуля от его температуры $P_M=f(T)$	51
8.	Лабораторная работа №8. Снятие режимных характеристик контроллера заряда-разряда аккумуляторной батареи	58
9.	Лабораторная работа №9. Моделирование режимов работы автономной фотоэлектрической солнечной электростанции	69
	Приложения	77

Введение

Целью работы в лаборатории является углубление и закрепление приобретенных теоретических знаний путем экспериментальной проверки теоретических положений, а также знакомство с электронными компонентами, оборудованием, измерительными приборами и аппаратурой, используемыми в лаборатории.

В результате выполнения лабораторных работ студенты должны приобрести умения и навыки по сборке и исследованию электронных схем и приборов, измерениям электрических величин. Тематика лабораторных работ полностью соответствует содержанию основных разделов курса, изучаемого в высших технических учебных заведениях. В предлагаемом учебном пособии описано одиннадцать лабораторных работ. В описании каждой лабораторной работы сформулирована ее цель, изложены основные теоретические положения, описана схема установки для проведения экспериментального исследования, даны рекомендации по проведению опытов и обработке результатов измерений, а также контрольные вопросы.

Лабораторная работа №1

Тема: Снятие вольт-амперной характеристики фотоэлектрического модуля $U=f(I)$

Цель работы: изучение аппаратуры, используемой в экспериментах, снятие и построение вольт-амперной характеристики фотоэлектрического модуля $U=f(I)$.

Формируемые компетенции:

Индекс	Формулировка:
ПК-1	Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения объектов
	ИД-2_{ПК-1} Выбирает типовые проектные решения систем электроснабжения объектов

Теоретическая часть:

Фотоэлектрический эффект (фотоэффект) был открыт французским ученым А.Э. Беккерелем в 1839 году и основан на способности токопроводящих материалов испускать электроны под действием электромагнитного излучения, в том числе и света.

Фотоэффект проявляется в фотоэлектрической системе, напрямую преобразующей солнечную энергию в электричество. Для работы фотоэлектрической системы необходим дневной свет. Фотоэлектрические системы не должны обязательно находиться под прямыми солнечными лучами, так что даже в пасмурные дни фотоэлектрические панели могут вырабатывать некоторое количество электроэнергии.

Простейшая конструкция фотоэлектрического или солнечного элемента (СЭ) – прибора для преобразования энергии солнечного излучения – на основе монокристаллического кремния показана на рис. 1.

На малой глубине от поверхности кремниевой пластины p-типа сформирован p–n-переход с тонким металлическим контактом; на тыльную сторону пластины нанесен сплошной металлический контакт.

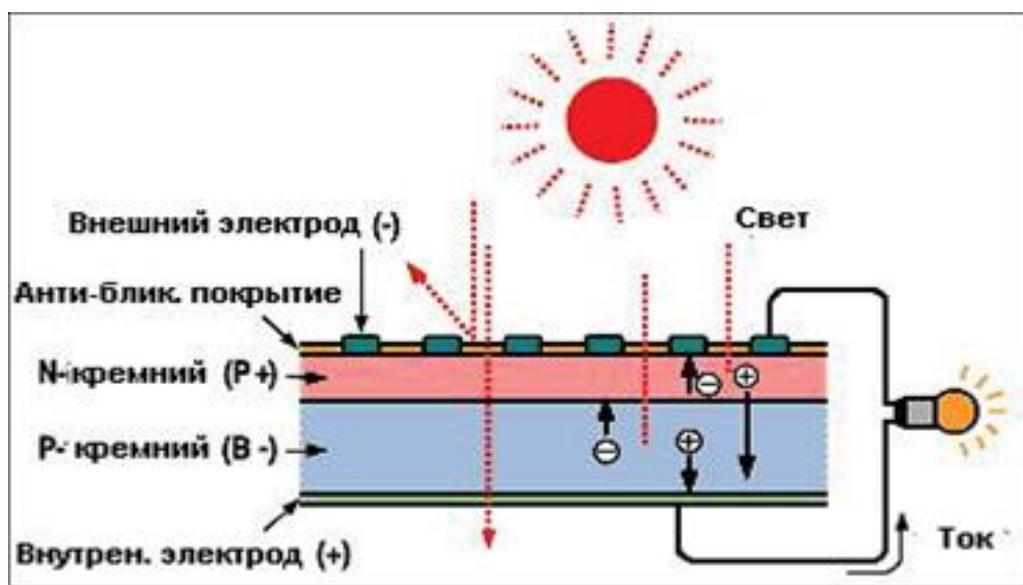


Рисунок 1 – Простейшая конструкция фотоэлектрического элемента

Фотоэлектрические модули состоят из солнечных элементов. Так как один солнечный элемент не производит достаточного количества электроэнергии для большинства применений, солнечные элементы собираются в фотоэлектрических модулях для того, чтобы производить больше электричества.

Производятся модули 4 основных типов:

Модули в алюминиевой рамке и покрытые стеклом имеют лицевую поверхность из стекла (по специальному заказу возможно применение специального закаленного стекла), обеспечивающего наилучшие показатели по пропусканию света и защиту от внешних воздействий.

Модули на стекле без рамки и клеммной коробки. Поставляются на заказ. В наличии обычно есть модули мощностью 10-12 Вт 12В.

Безрамочные ламинированные фотоэлектрические модули (облегченные) без стекла и клеммной коробки. Такие модули подходят для применения как компонент переносных устройств, устройств со встроенной

солнечной батареей, и т.п. Обычно такие модули изготавливаются на основе стеклотекстолита с пиковой мощностью до 15 Вт. Напряжение обычно 12 или 6 В. Изготовление других модулей такого типа (на другой основе и большей мощностью) производится по заказу.

Двусторонние модули - это новый тип модулей, преобразующих энергию света с обеих сторон - как с тыльной, так и с лицевой. Также имеют алюминиевую рамку. Эти модули могут быть использованы в любой фотоэлектрической установке. Требованием является открытость задней поверхности для того, чтобы она могла получать отраженное и рассеянное излучение. Такие модули обеспечивают существенное снижение стоимости пикового ватта мощности фотоэлектрической установки. Естественно, такие модули могут использоваться и в "обычных" фотоэлектрических системах, где задняя сторона модуля не освещается.

Солнечные модули (состоящие из различного числа фотоэлектрических или сол-нечных элементов) производятся многих типов и размеров. Наиболее типичные - это кремниевые фотоэлектрические модули мощностью 40-160 Вт_p (пиковый ватт, т.е. мощностью максимум в 40-160 Вт при ярком солнце). Такой фотоэлектрический модуль имеет размер от 0,4 до 1,6 м².

Фотоэлектрические (солнечные) модули могут соединяться между собой в фото-электрические (солнечные) батареи для того, чтобы получить большую мощность (например, 2 модуля по 50 Вт_p, соединенных вместе, эквивалентны модулю мощностью 100 Вт_p).

Электрические характеристики солнечной батареи: вольт-амперная характеристика.

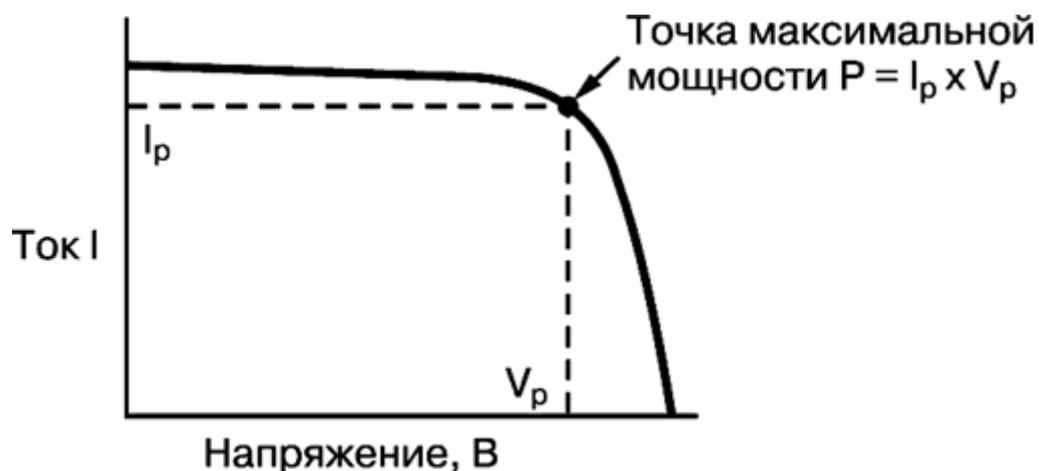


Рисунок 2 – Рисунок 1.3 – Вольт-амперная характеристика фотоэлемента

Важные точки вольт-амперной характеристики, которые характеризуют солнечный модуль:

Солнечный модуль может работать при любой комбинации напряжения и тока, расположенным на его вольт-амперной характеристике (ВАХ). Однако в реальности модуль работает в одной точке в данное время. Эта точка выбирается не модулем, а электрическими характеристиками цепи, к которой данный модуль (или солнечная батарея) подключен.

Напряжение, при котором ток равен 0, называется напряжением холостого хода (V_{oc}). С другой стороны, ток, при котором напряжение равно 0, называется током короткого замыкания (I_{sc}). В этих крайних точках ВАХ мощность модуля равна 0. На практике, система работает при комбинации тока и напряжения, когда вырабатывается достаточная мощность. Лучшее сочетание называется точкой максимальной мощности (ТММ, или МРР). Соответствующие напряжение и ток обозначаются как V_p (номинальное напряжение) и I_p (номинальный ток). Именно для этой точки определяются номинальная мощность и КПД солнечного модуля.

При прямом соединении солнечного модуля к аккумуляторной батарее, модуль работает при напряжении, равном напряжению аккумуляторной батареи в данный момент. По мере заряда АБ ее напряжение растет, поэтому

модуль может работать в диапазоне напряжения от 10 до 14,5В (здесь и далее используются напряжения для модуля номинальным напряжением 12В. Для модулей с номинальным напряжением 24В значения напряжения нужно умножить на 2). Соответственно, его рабочая точка может быть довольно далеко от оптимальной.

Перечень используемого оборудования:

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Блок питания	224.2	~220 В/ 6 А
A1	Блок фотоэлектрического модуля	2317.1	12 В/ 4,8 Вт
A2	Источник света	2331.1	2 прожектора ~220 В/ 300 Вт
A3	Блок нагрузки и измерения	2318	15 В/ 0,5 А/ 5 Вт
P1	Блок мультиметров	510	3 мультиметра 0...1000 В ; 0...10 А; 0...20 МОм

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрических соединений, приведенной на рис. 1.3.
- Регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком).
- Регулировочную рукоятку «НАГРУЗКА» блока нагрузки и измерения A3 поверните против часовой стрелки до упора.
- Установите фотоэлектрический модуль под углом 90 градусов к падающим световым лучам.
- Включите устройство защитного отключения и автоматические выключатели блока питания G1.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1 и блока нагрузки и измерения P2.
- Активизируйте мультиметры блока P1, задействованные в эксперименте.
- Вращая регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1, по вольтметру установите напряжение сети, соответствующее энергетической освещенности E равной, например, 400 Вт/м^2 и следите за ее постоянством в ходе эксперимента.
- Переключите мультиметр блока P1 с подключенной термопарой в режим измерения температуры.
- Контролируя температуру поверхности T фотоэлектрического модуля по показаниям мультиметра, выждете (7... 10 минут), пока она не установится, и зафиксируйте ее.
- Вращая регулировочную рукоятку «НАГРУЗКА» блока нагрузки и измерения A3, изменяйте ток нагрузки I фотоэлектрического модуля блока A1 и заносите показания амперметра (ток I) и вольтметра (напряжение U фотоэлектрического модуля блока A1) в таблицу.

I, A									
U, B									

- При этом обязательно измерьте ток I и напряжение U при максимальной мощности, отдаваемой фотоэлектрическим модулем, которую контролируйте по ваттметру блока нагрузки и измерения АЗ.
- По завершении эксперимента регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком). Отключите автоматические выключатели блока питания G1. Отключите выключатели "СЕТЬ" блока мультиметров P1 и блока нагрузки и измерения АЗ.
- Используя результаты табл. 1.1, постройте искомую вольт-амперную характеристику фотоэлектрического модуля $U=f(I)$ при $E = \text{const}$ и $T = \text{const}$.

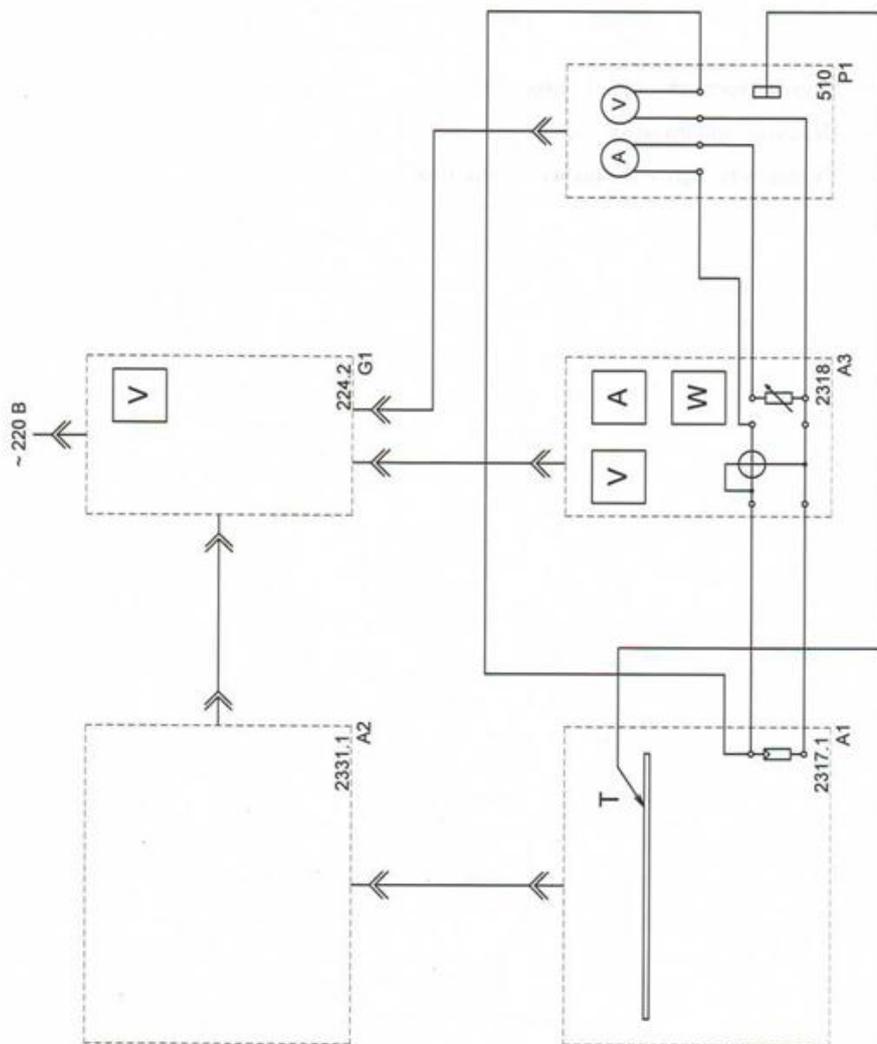


Рисунок 3 – Схема электрических соединений

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Сформулируйте цель лабораторной работы и поясните, как достигается поставленная цель.
2. Назовите основные элементы лабораторного стенда и объясните их назначение.
3. Конструкция солнечного элемента.
4. Что называют солнечным модулем? Основные типы модулей?
5. Что такое вольт-амперная характеристика (ВАХ) солнечного элемента?

Список литературы, рекомендованный к использованию по данной теме:

Перечень основной литературы

1. Сибикин, М.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебное пособие / М.Ю. Сибикин, Ю.Д. Сибикин. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 229 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-2717-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=257750>

2. Удалов, С.Н. Возобновляемые источники энергии : учебное пособие / С.Н. Удалов. - 3-е изд., перераб. и доп. - Новосибирск : НГТУ, 2014. - 459 с. :

табл., граф., ил. - (Учебники НГТУ). - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-7782-2467-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436051>

Перечень дополнительной литературы

1. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии [Электронный ресурс] : учебное пособие / сост. И. Ю. Чуенкова. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. — 148 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63104.html>

Лабораторная работа №2

Тема: Снятие энергетической характеристики фотоэлектрического модуля $P=f(U)$

Цель работы: изучение аппаратуры, используемой в экспериментах, снятие и построение энергетической характеристики фотоэлектрического модуля $P=f(I)$.

Формируемые компетенции:

Индекс	Формулировка:
ПК-1	Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения объектов
	ИД-2 _{ПК-1} Выбирает типовые проектные решения систем электроснабжения объектов

Теоретическая часть:

Напряжение холостого хода – это максимальное напряжение, создаваемое солнечным элементом, возникающее при нулевом токе (рис. 4). Оно равно прямому смещению, соответствующему изменению напряжения $p-n$ -перехода при появлении светового тока. Напряжение холостого хода обычно обозначается U_{oc} или U_{oc} . Напряжение холостого хода монокристаллических солнечных элементов высокого качества достигает 730 мВ. В коммерческих устройствах оно обычно находится на уровне 600 мВ. Напряжение холостого хода солнечного элемента мало меняется при изменении освещенности.

Ток короткого замыкания – это ток, протекающий через солнечный элемент, когда напряжение равно нулю (то есть когда солнечный элемент замкнут накоротку) (рис. 2.2). Ток короткого замыкания обычно обозначается I_{sc} или I_{sc} . Он возникает в результате генерации и разделения сгенерированных светом носителей. В идеальном солнечном элементе при условии умеренных резистивных потерь он равен световому току. Поэтому

ток короткого замыкания можно считать максимальным током, который способен создать солнечный элемент. Кроме того, он прямо пропорционально зависит от интенсивности света.

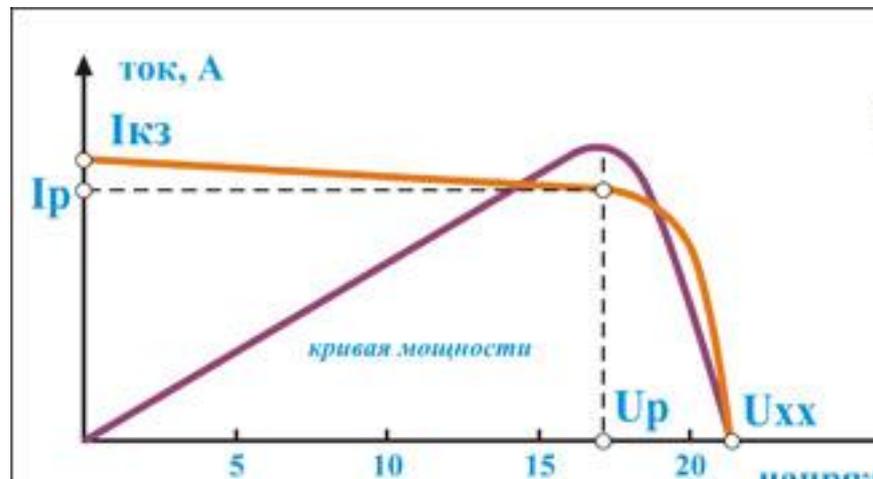


Рисунок 4 – Вольт-амперная характеристика солнечного элемента и напряжение холостого хода

На практике солнечный элемент работает при комбинации тока и напряжения, когда вырабатывается достаточная мощность. Лучшее их сочетание называется точкой максимальной мощности (ТММ), соответствующие напряжение и ток обозначаются $U_{ТММ}$ и $I_{ТММ}$.

Коэффициент заполнения вольт-амперной характеристики (ВАХ) солнечного элемента (fill factor, FF). Ток короткого замыкания и напряжение холостого хода – это максимальные ток и напряжение, которые можно получить от солнечного элемента. Однако, при напряжении холостого хода и токе короткого замыкания мощность солнечного элемента равна 0.

Коэффициент заполнения – параметр, который в сочетании с напряжением холостого хода и током короткого замыкания определяет максимальную мощность солнечного элемента. Он вычисляется, как отношение максимальной мощности солнечного элемента к произведению напряжения холостого хода и тока короткого замыкания:

$$FF = (U_{ТММ} \cdot I_{ТММ}) / (I_{кз} \cdot U_{хх}),$$

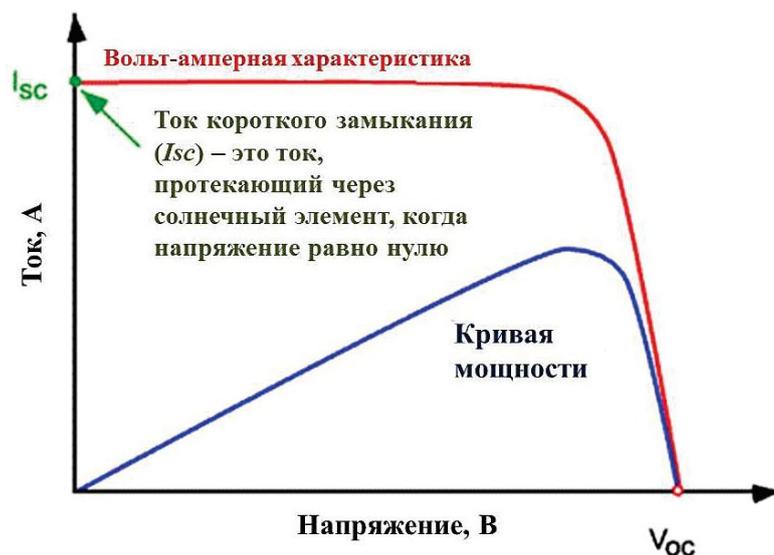


Рисунок 5 – Кривая мощности

Графически коэффициент заполнения представляет собой меру квадратичности солнечного элемента и равен максимальной площади прямоугольника, который можно вписать в вольт-амперную кривую (рис. 5).

Так как коэффициент заполнения является мерой квадратичности вольт-амперной кривой, солнечный элемент с более высоким напряжением будет иметь и более высокий возможный коэффициент заполнения, поскольку закругленная часть кривой занимает меньше места. Коэффициент заполнения ВАХ является одним из основных параметров, по которому можно судить о качестве фотоэлектрического преобразователя. Типичные качественные серийно выпускаемые солнечные элементы имеют коэффициент заполнения ВАХ более 0,7. Бракованные элементы имеют коэффициент заполнения ВАХ от 0,4 до 0,65. У аморфных элементов и других тонкопленочных фотоэлектрических преобразователей коэффициент заполнения ВАХ 0,4–0,7. Чем больше коэффициент заполнения ВАХ, тем меньше потери в элементе из-за внутреннего сопротивления.

При изготовлении каждый солнечный элемент тестируется и при этом измеряется его ВАХ и коэффициент заполнения. Если последний меньше 0,7, то элемент классифицируется как Grade B и продается производителям

супердешевых панелей, которые должны уведомлять покупателей о низком качестве элементов.

Коэффициент полезного действия (КПД) является самым распространенным параметром, по которому можно сравнить производительность двух солнечных элементов. Он определяется как отношение мощности, вырабатываемой солнечным элементом, к мощности падающего солнечного излучения. Кроме собственно производительности солнечного элемента, КПД также зависит от спектра и интенсивности падающего солнечного излучения и температуры солнечного элемента. Поэтому для сравнения двух солнечных элементов нужно тщательно выполнять принятые стандартные условия. КПД солнечного элемента определяется как часть падающей энергии, преобразованной в электричество:

$$\eta = (P_{\max} / P_{\text{пад}}) \cdot 100\%,$$

где P_{\max} – максимальная мощность солнечного элемента, Вт, вычисляется по формуле $P_{\max} = U_{\text{ТММ}} \cdot I_{\text{ТММ}} = FF \cdot I_{\text{кз}} \cdot U_{\text{хх}}$, где $U_{\text{ТММ}}$ – напряжение в точке максимальной мощности, В; $I_{\text{ТММ}}$ – ток в точке максимальной мощности, А; FF – коэффициент заполнения вольт-амперной характеристики; $I_{\text{кз}}$ – ток короткого замыкания, А; $U_{\text{хх}}$ – напряжение холостого хода, В.

$P_{\text{пад}}$ – мощность падающего солнечного излучения, Вт.

Перечень используемого оборудования:

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Блок питания	224.2	~220 В/ 6 А
A1	Блок фотоэлектрического модуля	2317.1	12 В/ 4,8 Вт
A2	Источник света	2331.1	2 прожектора

			~220 В/ 300 Вт
А3	Блок нагрузки и измерения	2318	15 В/ 0,5 А/ 5 Вт
Р1	Блок мультиметров	510	3 мультиметра 0...1000 В ; 0...10 А; 0...20 МОм

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 2.3.
- Регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком).
- Регулировочную рукоятку «НАГРУЗКА» блока нагрузки и измерения А3 поверните против часовой стрелки до упора.
- Установите фотоэлектрический модуль под углом 90 градусов к падающим световым лучам.
- Включите устройство защитного отключения и автоматические выключатели блока питания G1.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров Р1 и блока нагрузки и измерения Р2.
- Активизируйте мультиметры блока Р1, задействованные в эксперименте.

- Вращая регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1, по вольтметру установите напряжение сети, соответствующее энергетической освещенности E равной, например, 400 Вт/м² и следите за ее постоянством в ходе эксперимента.

- Контролируя температуру поверхности T фотоэлектрического модуля по показаниям мультиметра, выждете (7... 10 минут), пока она не установится, и зафиксируйте ее.

- Вращая регулировочную рукоятку «НАГРУЗКА» блока нагрузки и измерения АЗ, изменяйте мощность P, отдаваемую фотоэлектрическим модулем блока А1 и заносите показания ваттметра (мощность P) и вольтметра (напряжение U фотоэлектрического модуля блока А1) в таблицу.

P, Вт									
U, В									

- По завершении эксперимента регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком). Отключите автоматические выключатели блока питания G1. Отключите выключатели "СЕТЬ" блока мультиметров P1 и блока нагрузки и измерения АЗ.

- Используя результаты табл. постройте искомую энергетическую характеристику фотоэлектрического модуля $P=f(U)$ при $E = \text{const}$ и $T = \text{const}$.

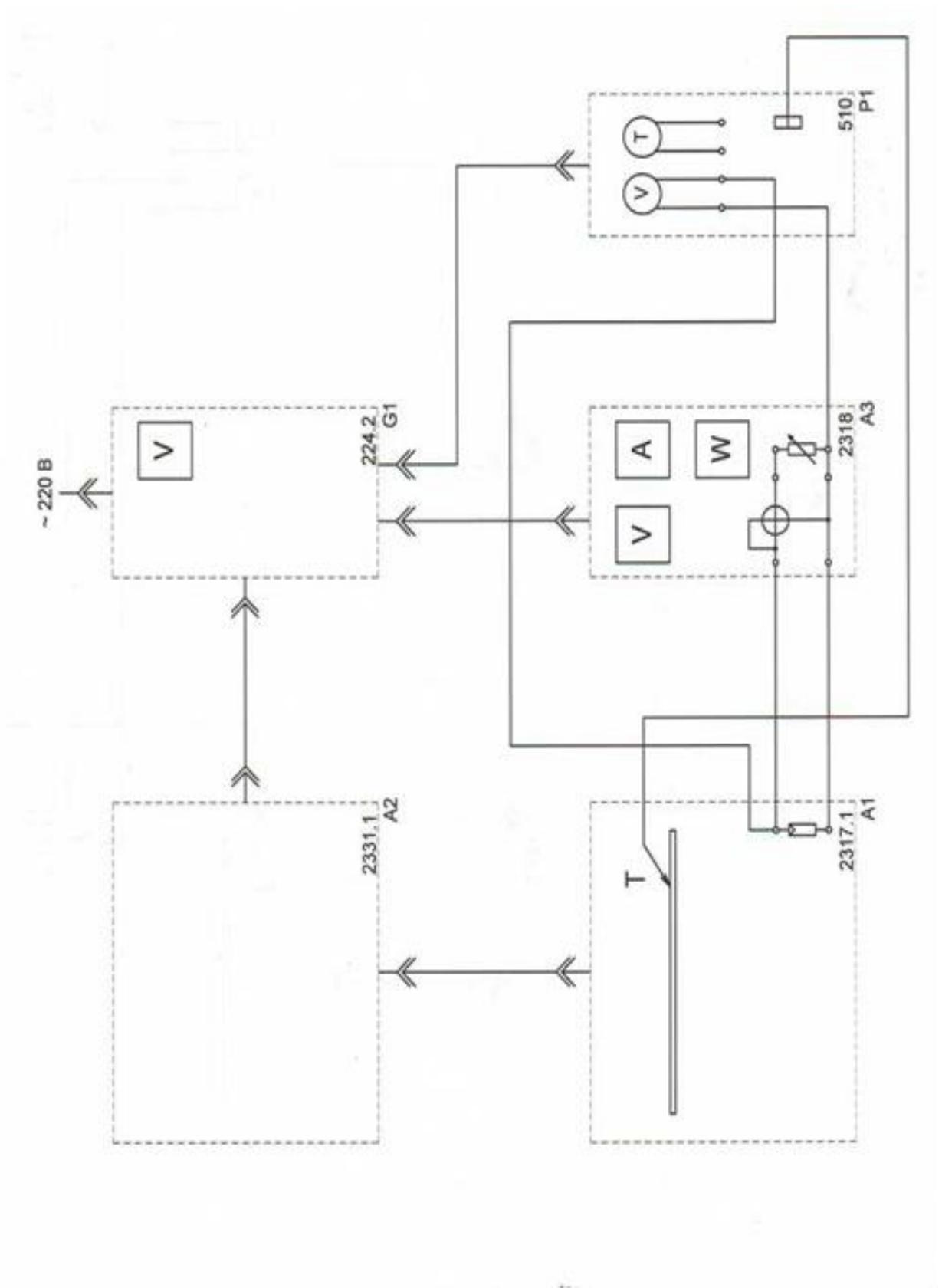


Рисунок 6 – Схема электрических соединений

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Сформулируйте цель лабораторной работы и поясните, как достигается поставленная цель.
2. Назовите основные элементы лабораторного стенда и объясните их назначение.
3. Назовите основные характеристики солнечного элемента.
4. Графическое представление коэффициента заполнения вольт-амперной характеристики (ВАХ) солнечного элемента?
5. От каких параметров зависит КПД фотоэлектрического элемента?

Список литературы, рекомендованный к использованию по данной теме:

Перечень основной литературы

1. Сибикин, М.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебное пособие / М.Ю. Сибикин, Ю.Д. Сибикин. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 229 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-2717-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=257750>

2. Удалов, С.Н. Возобновляемые источники энергии : учебное пособие / С.Н. Удалов. - 3-е изд., перераб. и доп. - Новосибирск : НГТУ, 2014. - 459 с. :

табл., граф., ил. - (Учебники НГТУ). - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-7782-2467-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436051>

Перечень дополнительной литературы

1. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии [Электронный ресурс] : учебное пособие / сост. И. Ю. Чуенкова. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. — 148 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63104.html>

Лабораторная работа №3

Тема: Снятие зависимости тока короткого замыкания фотоэлектрического модуля от энергетической освещенности $I_K=f(E)$

Цель работы: изучение аппаратуры, используемой в экспериментах, снятие и построение энергетической характеристики фотоэлектрического модуля $I_K=f(E)$.

Формируемые компетенции:

Индекс	Формулировка:
ПК-1	Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения объектов
	ИД-2_{ПК-1} Выбирает типовые проектные решения систем электроснабжения объектов

Теоретическая часть:

Солнечные фотоэлектрические модули представляют собой батарею полупроводниковых элементов, обладающих фотоэлектрическими свойствами (способностью генерировать ЭДС под воздействием фотонов света), объединённую в единую конструкцию. Для лицевой поверхности модуля в настоящее время используют специальное просветлённое и закалённое стекло с антибликовой поверхностью или прозрачный поликарбонат. Элементы герметизируются в вакуумной камере пластическими материалами. Наибольшее распространение получили модули с применением поли- и монокристаллов кремния. Также используется аморфный кремний и полупроводники не на кремниевой основе. Элементы соединены последовательно и/или параллельно для получения нужных параметров по току и напряжению. Обычно для придания дополнительной прочности модуль обрамляется в рамку из алюминиевого профиля. Контакты выводятся в герметичную коробку на задней поверхности модуля. Для построения солнечной электростанции модули располагают на каркасе под

оптимальным углом к солнечным лучам, для каждого времени года и местности этот угол имеет разное значение. Иногда применяют специальные устройства для автоматического позиционирования модулей на солнце — трекеры, это позволяет увеличить дневную выработку энергии на 20-50%. Модули соединяют в общую систему проводами, для уменьшения потерь длина проводов должна быть как можно меньше, а их сечение как можно большим.

Электрическая энергия постоянного тока, которую вырабатывают солнечные модули, поступает на устройство, называемое контроллером. Если система автономная, то контроллер является контроллером заряда и не допускает выхода из строя от перезаряда аккумуляторов, в которых накапливается энергия, если её производится больше, чем потребляется. Существует великое множество конструкций контроллеров заряда, наиболее эффективные – импульсные ШИМ (используют широтно-импульсную модуляцию) и использующие функцию MPPT (Maximum Power Point Tracker) – отслеживания точки максимальной мощности. Дело в том, что выработка энергии фотоэлектрическим модулем сильно зависит от освещённости, а при зарядке аккумуляторов и от их степени заряда. Контроллер MPPT отслеживает эти параметры и обеспечивает максимальную эффективность фотоэлектрической системы.

Для автономных систем применяются герметичные, необслуживаемые аккумуляторы, собранные по технологиям GEL и AGM, с длительным сроком службы. В отдельных случаях допустимо применение щелочных аккумуляторов, не обладающих эффектом «памяти», в тех устройствах, где потребляется постоянный ток. Применение кислотных стартерных аккумуляторов нецелесообразно, т.к. такие аккумуляторы могут быстро выйти из строя из-за сульфатации и расслоения электролита.

Инвертор – это устройство, преобразующее запасённую в аккумуляторах энергию постоянного тока в энергию переменного тока нужного напряжения и частоты. По форме выходного сигнала инверторы

бывают с чисто синусоидальным выходом, с квазисинусоидальным и сигналом прямоугольной формы. Применение чисто синусоидальных инверторов не имеет ограничений, если вы применяете инверторы с другой формой выходного сигнала – могут не работать отдельные приборы, например, аналоговые блоки питания, асинхронные двигатели работают с повышенным шумом и могут выйти из строя, не работают некоторые устройства автоматики и т.д.

Стоимость инвертора с чистой синусоидой значительно выше, но качество получаемой энергии можно назвать идеальным. Мощность инвертора подбирается, как было сказано выше, с запасом с учётом пусковых токов, и лучше иметь ещё дополнительный запас по мощности в 20-30%, в таком случае инвертор будет работать долго и надёжно. Иногда используются солнечные электростанции для подпитки существующей электросети, в таком случае аккумуляторы не используются, а энергия, полученная от солнечного света, напрямую передаётся в сеть – такие системы называются «grid-tie» (связанные с сетью) и используются там, где существует локальная перегрузка электрических сетей. В России до настоящего времени подобные системы не находили применения.

Таким образом, применение солнечной энергии для электроснабжения самых разных потребителей развивается в соответствии с ростом потребностей и стоимостью углеводородного топлива. Можно прогнозировать бурный рост этой отрасли в ближайшие годы. Интерес к солнечной энергетике постоянно подогревается сообщениями информационных агентств о запуске в эксплуатацию мощных солнечных электростанций в южной Европе, США, Австралии, Японии, Китае.

Перечень используемого оборудования:

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Блок питания	224.2	~220 В/ 6 А
A1	Блок фотоэлектрического модуля	2317.1	12 В/ 4,8 Вт
A2	Источник света	2331.1	2 прожектора ~220 В/ 300 Вт
A3	Блок нагрузки и измерения	2318	15 В/ 0,5 А/ 5 Вт
P1	Блок мультиметров	510	3 мультиметра 0...1000 В ; 0...10 А; 0...20 МОм

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 1.3.
- Регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком).
- Установите фотоэлектрический модуль под углом 90 градусов к падающим световым лучам.
- Включите устройство защитного отключения и автоматические выключатели блока питания G1.

- Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1.
- Активизируйте мультиметры блока P1, задействованные в эксперименте.
- С помощью мультиметра зафиксируйте температуру поверхности T фотоэлектрического модуля.
- Вращая регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1, по вольтметру установите напряжение сети, соответствующее желаемой энергетической освещенности E, быстро занесите показания амперметра блока мультиметров P1 (ток короткого замыкания Iк фотоэлектрического модуля блока A1) в таблицу 1.3 и быстро поверните регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» против часовой стрелки до упора (со щелчком).
- Дождитесь восстановления температуры (если она изменилась) до ранее зафиксированного значения и повторите предыдущую операцию при другом значении энергетической освещенности E.
- Выполните две предыдущие операции число раз, необходимое для заполнения таблицы

E, Вт/м ²										
I _к , А										

- По завершении эксперимента регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком). Отключите автоматические выключатели блока питания G1. Отключите выключатель "СЕТЬ" блока мультиметров P1.
- Используя результаты табл. 1.4, постройте искомую зависимость $I_k=f(E)$ при $E = \text{const}$ и $T = \text{const}$.

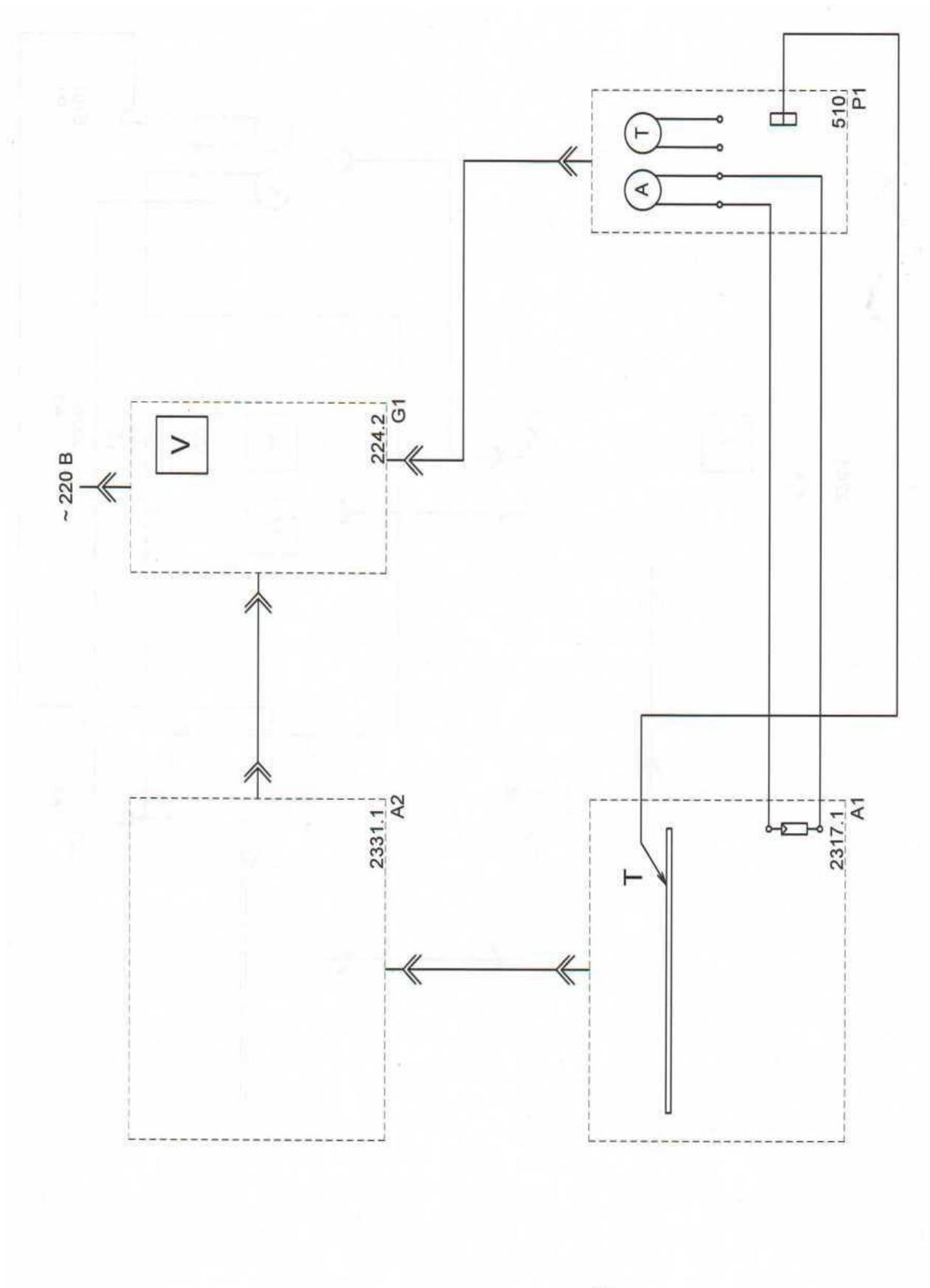


Рисунок 7 – Схема электрических соединений

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Назовите основные типы солнечных коллекторов, их преимущества, недостатки и область применения.
2. Назовите среднегодовое значение солнечной радиации на 1 м² земной поверхности для южных и северных стран.
3. Назовите преимущества и недостатки солнечных водонагревательных установок с естественной циркуляцией теплоносителя.
4. Перечислите основные направления использования солнечной энергии в энергетике. Где и в какой мере они развиты?

Список литературы, рекомендованный к использованию по данной теме:

Перечень основной литературы

1. Сибикин, М.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебное пособие / М.Ю. Сибикин, Ю.Д. Сибикин. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 229 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-2717-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=257750>

2. Удалов, С.Н. Возобновляемые источники энергии : учебное пособие / С.Н. Удалов. - 3-е изд., перераб. и доп. - Новосибирск : НГТУ, 2014. - 459 с. : табл., граф., ил. - (Учебники НГТУ). - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-7782-2467-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436051>

Перечень дополнительной литературы

1. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии [Электронный ресурс] : учебное пособие / сост. И. Ю. Чуенкова. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. — 148 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63104.html>

Лабораторная работа №4

Тема: Снятие зависимости тока короткого замыкания фотоэлектрического модуля от угла падения на его поверхность лучей света
 $I_K=f(\rho)$

Цель работы: изучение аппаратуры, используемой в экспериментах, снятие зависимости тока короткого замыкания фотоэлектрического модуля от угла падения на его поверхность лучей света $I_K=f(\rho)$

Формируемые компетенции:

Индекс	Формулировка:
ПК-1	Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения объектов
	ИД-2_{ПК-1} Выбирает типовые проектные решения систем электроснабжения объектов

Теоретическая часть:

Существует ряд способов преобразования солнечной энергии в электричество, за основу которых приняты различные процессы: термодинамические, термоэмиссионные, термоэлектрические, фотоэлектрические, фотогальванические, фотоэмиссионные. Однако до сих пор практическое применение находят только два из них:

- термодинамические, в основе которых – применение известных термодинамических циклов тепловых двигателей;
- фотоэлектрические, основанные на непосредственном преобразовании полупроводниковыми фотоэлементами светового и инфракрасного излучения в электричество.

Термодинамические солнечные электростанции. С помощью криволинейного солнечного коллектора, состоящего из большого числа зеркал (гелиостатов), солнечная энергия фокусируется в небольшом объеме, где размещается теплоприемник, теплоносителем в котором является вода,

воздух или иные газы. В результате получают соответственно либо насыщенный пар с температурой до 550 °С, либо газ с температурой до 1000 °С.

Далее реализуется один из традиционных термодинамических циклов (Ренкина или Брайтона). Наибольшую сложность вызывает управление солнечным коллектором. Гелиостаты должны отслеживать движение Солнца, совершая при этом вращения вокруг двух осей. Самая незначительная деформация коллектора, связанная, например, с неравномерным тепловым расширением элементов его конструкции, приводит к нарушению фокусировки и снижению общей эффективности коллектора. В результате система слежения получается очень сложной, и ее управление осуществляется с помощью ЭВМ. Поэтому, в частности, ограничиваются получением насыщенного пара, так как выделение отдельного пароперегревателя в еще большей степени усложнит управление коллектором.

В настоящее время термодинамические СЭС строятся в основном двух типов: башенного и распределенного (или модульного) типа.

В башенных СЭС паровой котел поднимают высоко над землей (иначе на нем не удастся сфокусировать солнечное излучение). Принципиальная схема башенной СЭС представлена на рис.

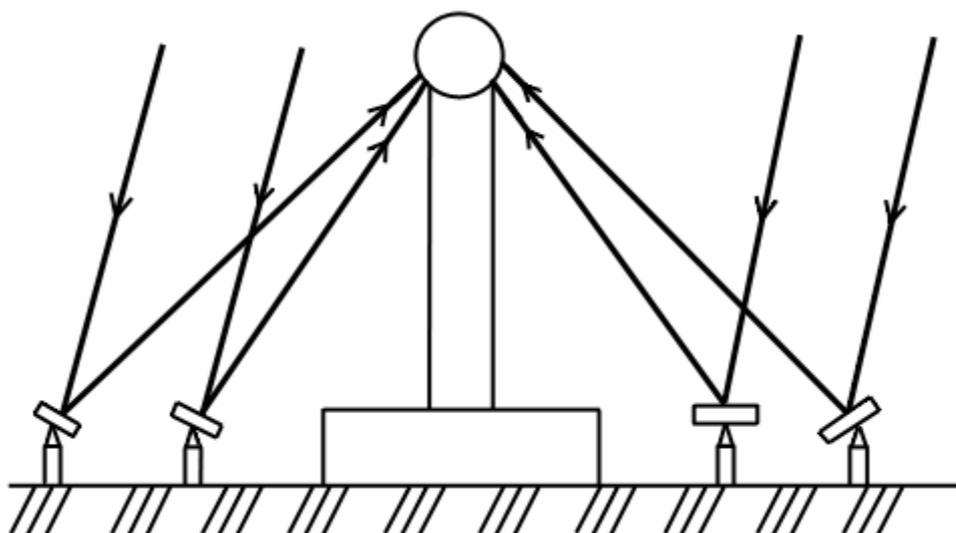


Рисунок 8 – Схема СЭС башенного типа

Главные недостатки башенных СЭС – высокая стоимость и большая занимаемая площадь. Считается, что при мощностях менее 10 МВт СЭС башенного типа нерентабельны, а их оптимальная мощность примерно 100 МВт. При мощности 100 МВт башенная СЭС занимает площадь 200 га и высота ее башни должна быть 250 м. С 1965 года ряд СЭС данного типа построены в США и некоторых европейских странах. В частности, в 1985 году введена в эксплуатацию башенная СЭС в Крыму (пос. Щелкино) мощностью 5 МВт. Солнечный коллектор этой СЭС образуют 1600 гелиостатов (плоских зеркал), каждый из которых имеет площадь 25,5 м² и коэффициент отражения 0,71 (естественно, пока гелиостаты остаются чистыми), парогенератор имеет цилиндрическую форму и находится на башне высотой 89 м.

В СЭС распределенного (модульного) типа используется большое количество модулей, каждый из которых снабжен параболоцилиндрическим концентратором. В его фокусе осуществляется нагревание рабочего тела, поступающего далее на общий тепловой двигатель, соединенный с электрогенератором. Самая крупная СЭС такого типа построена в США и имеет мощность 12,5 МВт. Считается, что при небольших мощностях модульные СЭС дешевле, чем башенные.

Перечень используемого оборудования:

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Блок питания	224.2	~220 В/ 6 А
A1	Блок фотоэлектрического модуля	2317.1	12 В/ 4,8 Вт
A2	Источник света	2331.1	2 прожектора ~220 В/ 300 Вт
A3	Блок нагрузки и	2318	15 В/ 0,5 А/ 5 Вт

	измерения		
P1	Блок мультиметров	510	3 мультиметра 0...1000 В ; 0...10 А; 0...20 МОм

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 1.3.
- Регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком).
- Установите фотоэлектрический модуль под углом 90 градусов к падающим световым лучам.
- Включите устройство защитного отключения и автоматические выключатели блока питания G1.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1.
- Активизируйте мультиметры блока P1, задействованные в эксперименте.
- Вращая регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1, по вольтметру установите напряжение сети, соответствующее энергетической освещенности $E=500 \text{ Вт/м}^2$.

Таблица 1.4

φ , град										
I_K , А										

- По завершении эксперимента регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком). Отключите автоматические выключатели блока питания G1. Отключите выключатель "СЕТЬ" блока мультиметров P1.

- Используя результаты табл. 1.4, постройте искомую зависимость $I_K=f(\varphi)$ при $E = \text{const}$ и $T = \text{const}$.

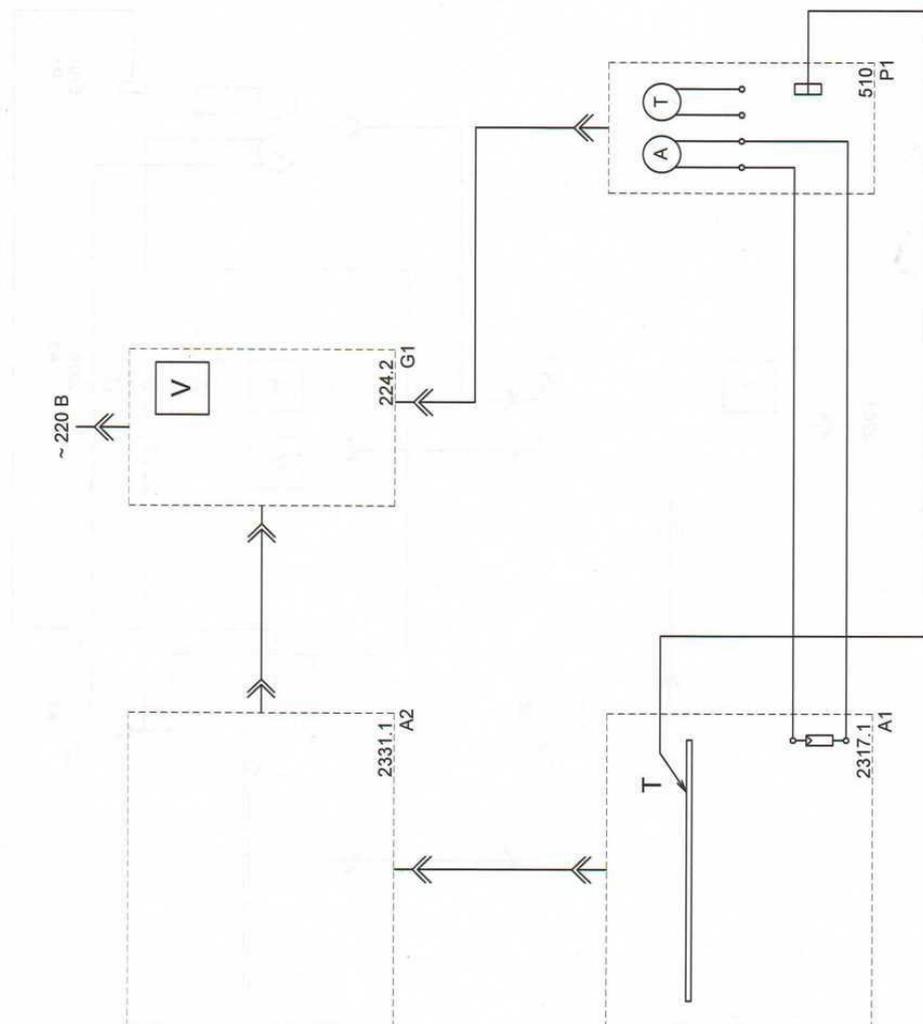


Рисунок 9 – Схема электрических соединений

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Назовите среднее значение к.п.д. преобразования солнечной энергии в электрическую, достигаемую на современных ФЭС.
2. Назовите максимальные значения мощности современных ФЭС.

Список литературы, рекомендованный к использованию по данной теме:

Перечень основной литературы

1. Сибикин, М.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебное пособие / М.Ю. Сибикин, Ю.Д. Сибикин. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 229 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-2717-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=257750>

2. Удалов, С.Н. Возобновляемые источники энергии : учебное пособие / С.Н. Удалов. - 3-е изд., перераб. и доп. - Новосибирск : НГТУ, 2014. - 459 с. : табл., граф., ил. - (Учебники НГТУ). - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-7782-2467-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436051>

Перечень дополнительной литературы

1. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии [Электронный ресурс] : учебное пособие / сост. И. Ю. Чуенкова. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. — 148 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63104.html>

Лабораторная работа №5

Тема: Снятие зависимости тока короткого замыкания фотоэлектрического модуля от его температуры $I_K=f(T)$

Цель работы: изучение аппаратуры, используемой в экспериментах, снятие зависимости тока короткого замыкания фотоэлектрического модуля от его температуры $I_K=f(T)$

Формируемые компетенции:

Индекс	Формулировка:
ПК-1	Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения объектов
	ИД-2_{ПК-1} Выбирает типовые проектные решения систем электроснабжения объектов

Теоретическая часть:

Эффективность (в широком понимании) практического применения автономных энергоустановок определяется широким набором различных параметров: энергетическая эффективность (КПД), стоимость оборудования и эксплуатационные затраты, надежность, безопасность, экологичность и др. Показатели энергоустановки в целом во многом определяются показателями отдельных компонентов, входящих в систему, и тем насколько конфигурация системы оптимальна для заданных условий эксплуатации. Очевидно, что показатели эффективности могут быть оценены только на основе создания экспериментальных и демонстрационных систем и разработки адекватных математических моделей энергоустановок. Одной из принципиальных особенностей модели является

возможность моделирования первичных возобновляемых источников энергии с характерной для них неравномерной генерируемой мощностью в зависимости от географической точки, сезона, и времени суток. Для этой цели используется климатическая база данных, созданная в ИВТ РАН на

основе обобщения результатов многолетних метеорологических наблюдений на отечественных метеостанциях и спутниковых данных НАСА.

Реальные климатические условия формируются в формате так называемого типичного метеогода (годовые часовые последовательности интенсивности солнечной радиации, скорости ветра, температуры наружного воздуха и других метеопараметров), что позволяет моделировать работу первичных источников в любой заданной географической точке. В качестве основы для проведения расчетов использована среда автоматического моделирования сложных систем преобразования энергии возобновляемых источников TRNSYS, широко применяемая ведущими зарубежными научными центрами для моделирования установок и систем по преобразованию солнечной энергии, для которых характерны нестационарные режимы работы.

Среда динамического моделирования TRNSYS, первоначально разработана в Висконсинском университете (США) в 1973 году для моделирования систем солнечного теплоснабжения. На сегодня TRNSYS является отраслевым стандартом де-факто, что позволяет говорить о достоверных результатах моделирования. Конфигурация моделируемой системы задается пользователем в виде специального файла описания связей между элементами системы. Этот файл в последних версиях TRNSYS генерируется специальной программой с удобным графическим интерфейсом. Модульный характер TRNSYS, наличие исходного кода и четких правил описания и связывания модулей определяют открытый характер TRNSYS, позволяя пользователю создавать модули описания собственных элементов и включать их в моделируемые системы расширяя таким образом возможности среды моделирования.

Расчетная схема включает в себя как стандартные модули, входящие в поставляемую конфигурацию пакета TRNSYS, так и специально написанные для решения поставленной задачи. Из стандартных модулей в схеме использованы программы генерации часовых последовательностей сумм

солнечной радиации, температуры окружающего воздуха и скорости ветра в формате типичного метеогода по среднемесячным данным (ТМУ), пересчета потоков солнечной радиации с горизонтальной на наклонную поверхность (PV orientation), модули визуализации временных процессов (Type 65) и контроля интегральных критериев работы энергоустановки (Efficiency). Специально разработаны модули расчета батареи фотоэлементов (PV-module) и ветроагрегата (WindTurbine), нагрузки (Load), аккумуляторного накопителя (Battery), электролизера с согласующим преобразователем (Electrolyser), ресивера (Reciver) батареи топливных элементов с согласующим преобразователем (FuelCell), а также модель блока управления (Controller). Модель допускает расширение состава и характеристик блоков.

Перечень используемого оборудования:

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Блок питания	224.2	~220 В/ 6 А
A1	Блок фотоэлектрического модуля	2317.1	12 В/ 4,8 Вт
A2	Источник света	2331.1	2 прожектора ~220 В/ 300 Вт
A3	Блок нагрузки и измерения	2318	15 В/ 0,5 А/ 5 Вт
P1	Блок мультиметров	510	3 мультиметра 0...1000 В ; 0...10 А; 0...20 МОм

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 1.3.
- Регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком).
- Установите фотоэлектрический модуль под углом 90 градусов к падающим световым лучам.
- Включите устройство защитного отключения и автоматические выключатели блока питания G1.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1.
- Активизируйте мультиметры блока P1, задействованные в эксперименте.
- Вращая регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1, по вольтметру установите напряжение сети, соответствующее энергетической освещенности $E=500$ Вт/м².

$T, ^\circ\text{C}$										
$I_{\text{к}}, \text{A}$										

- По завершении эксперимента регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком). Отключите автоматические

выключатели блока питания G1. Отключите выключатель "СЕТЬ" блока мультиметров P1.

- Используя результаты табл. 1.5, постройте искомую зависимость $I_K=f(T)$ при $E = \text{const}$

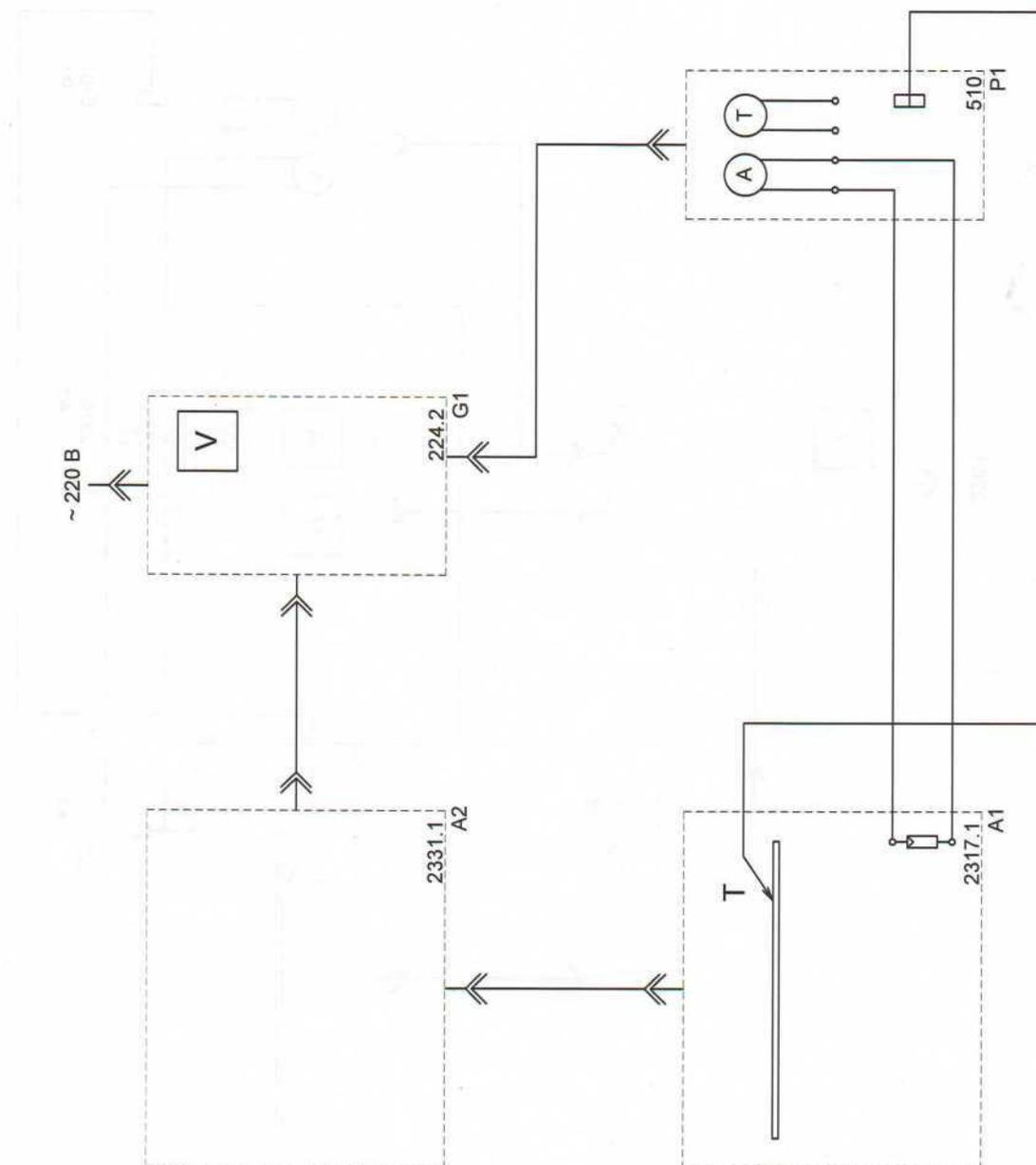


Рисунок 9 – Схема электрических соединений

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Поясните принцип работы солнечного пруда.
2. Назовите два основных принципа действия солнечных электростанций, перечислите их преимущества и недостатки.
3. Чем ФЭС башенного типа отличаются от модульных?

Список литературы, рекомендованный к использованию по данной теме:

Перечень основной литературы

1. Сибикин, М.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебное пособие / М.Ю. Сибикин, Ю.Д. Сибикин. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 229 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-2717-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=257750>

2. Удалов, С.Н. Возобновляемые источники энергии : учебное пособие / С.Н. Удалов. - 3-е изд., перераб. и доп. - Новосибирск : НГТУ, 2014. - 459 с. : табл., граф., ил. - (Учебники НГТУ). - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-7782-2467-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436051>

Перечень дополнительной литературы

1. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии [Электронный ресурс] : учебное пособие / сост. И. Ю. Чуенкова. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. — 148 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63104.html>

Лабораторная работа №6

Тема: Снятие зависимости напряжения холостого хода фотоэлектрического модуля от его температуры $U_{xx}=f(T)$

Цель работы: изучение аппаратуры, используемой в экспериментах, снятие зависимости напряжения холостого хода фотоэлектрического модуля от его температуры $U_{xx}=f(T)$

Формируемые компетенции:

Индекс	Формулировка:
ПК-1	Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения объектов
	ИД-2_{ПК-1} Выбирает типовые проектные решения систем электроснабжения объектов

Теоретическая часть:

В общем случае вольт-амперная характеристика фотопреобразователя солнечной энергии с р-п-переходом выражается следующим уравнением:

$$I = I_n \cdot \left[\exp\left(\frac{qU}{kT}\right) - 1 \right] - I_\phi$$

где I_n - ток насыщения в темноте; I_ϕ - фототок, то есть ток, созданный возбужденными светом носителями заряда и проходящий через р-п-переход; U – напряжение на переходе, q – величина заряда носителей (элементарный заряд).

Если во внешней цепи сила тока $I = 0$ (цепь разомкнута), то из выражения (1) можно найти напряжение холостого хода U_{xx} .

$$U_{xx} = \frac{kT}{q} \cdot \ln\left(\frac{I_\phi}{I_n} + 1\right)$$

Поскольку сила фототока обычно прямо пропорциональна световому потоку $I_\phi \sim \Phi$, то из формулы (2) следует нелинейная зависимость напряжения холостого хода U_{xx} от светового потока Φ .

Если освещаемый фотопреобразователь включен во внешнюю цепь с малым сопротивлением (или сопротивление нагрузки $R_H = 0$), то напряжение $U = 0$. А поскольку напряжение отсутствует, то в цепи течёт ток $I = -I_{\Phi}$, часто называемый током короткого замыкания $I_{кз}$. Знак минус означает, что ток в цепи течёт в том же направлении, что и при обратном (запирающем) напряжении.

Эффективность преобразования солнечной энергии фотопреобразователя характеризуют с помощью коэффициента полезного действия η .

К.п.д. фотопреобразователя η называют отношение максимальной электрической мощности P_{\max} , выделяемой при освещении в нагрузке, к потоку Φ падающего солнечного излучения, то есть к мощности солнечного излучения, падающего на поверхность ФЭПа.

$$\eta = P_{\max} / \Phi = I_{\max} \cdot U_{\max} / \Phi$$

Используя другую характеристику фотопреобразователя f (коэффициент заполнения вольт-амперной характеристики), к.п.д. можно выразить в следующем виде:

$$\eta = I_{\max} \cdot U_{\max} / \Phi = f I_{кз} \cdot U_{xx} / \Phi \quad (3)$$

Зависимость U_{xx} и f от температур в основном вызвана изменением концентрации собственных носителей заряда, что при повышении температуры приводит к уменьшению U_{xx} и f . Для напряжения холостого хода температурная зависимость показана на рис.2. Эта зависимость хорошо согласуется с теоретической, полученной из формулы (3) $dU_{xx} / dT = 0,00288$ В/°С, что отвечает примерно 0,5 % на 1 °С.

Коэффициент полезного действия преобразования фотопреобразователя с p-n переходом на основе кремния, определяемый с помощью формулы (3), достигает максимального значения при температурах от -150°С до -100 °С. При температуре, близкой к 25°С, к.п.д. изменяется со скоростью, равной примерно $d\eta / dT = -0,05$ %/°С.

При работе фотопреобразователей в условиях низкой температуры возможно значительное уменьшение диффузионной длины и, следовательно, $I_{кз}$. Кроме того при низких температурах металлические контакты могут утратить свои омические свойства, что приведёт к существенному уменьшению коэффициенту заполнения f . В современных кремниевых солнечных элементах последняя проблема в значительной мере устранена.

Перечень используемого оборудования:

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Блок питания	224.2	~220 В/ 6 А
A1	Блок фотоэлектрического модуля	2317.1	12 В/ 4,8 Вт
A2	Источник света	2331.1	2 прожектора ~220 В/ 300 Вт
A3	Блок нагрузки и измерения	2318	15 В/ 0,5 А/ 5 Вт
P1	Блок мультиметров	510	3 мультиметра 0...1000 В ; 0...10 А; 0...20 МОм

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 1.4.
- Регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком).
- Установите фотоэлектрический модуль под углом 90 градусов к падающим световым лучам.
- Включите устройство защитного отключения и автоматические выключатели блока питания G1.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1.
- Активизируйте мультиметры блока P1, задействованные в эксперименте.
- Вращая регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1, по вольтметру установите напряжение сети, соответствующее энергетической освещенности $E=500 \text{ Вт/м}^2$.
- Заносите значения термометра блока мультиметров P1 (температура T поверхности фотоэлектрического модуля блока A1) и вольтметра блока мультиметров P1 (напряжение холостого хода $U_{\text{хх}}$ фотоэлектрического модуля блока A1) в таблицу. При этом не допускайте превышение температуры свыше $50 \text{ }^\circ\text{C}$.

$T, \text{ }^\circ\text{C}$										
$U_{\text{хх}}, \text{ В}$										

- По завершении эксперимента регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком). Отключите автоматические выключатели блока питания G1. Отключите выключатель "СЕТЬ" блока мультиметров P1.

- Используя результаты табл. 1.6, постройте искомую зависимость $U_{xx}=f(T)$ при $E = \text{const}$

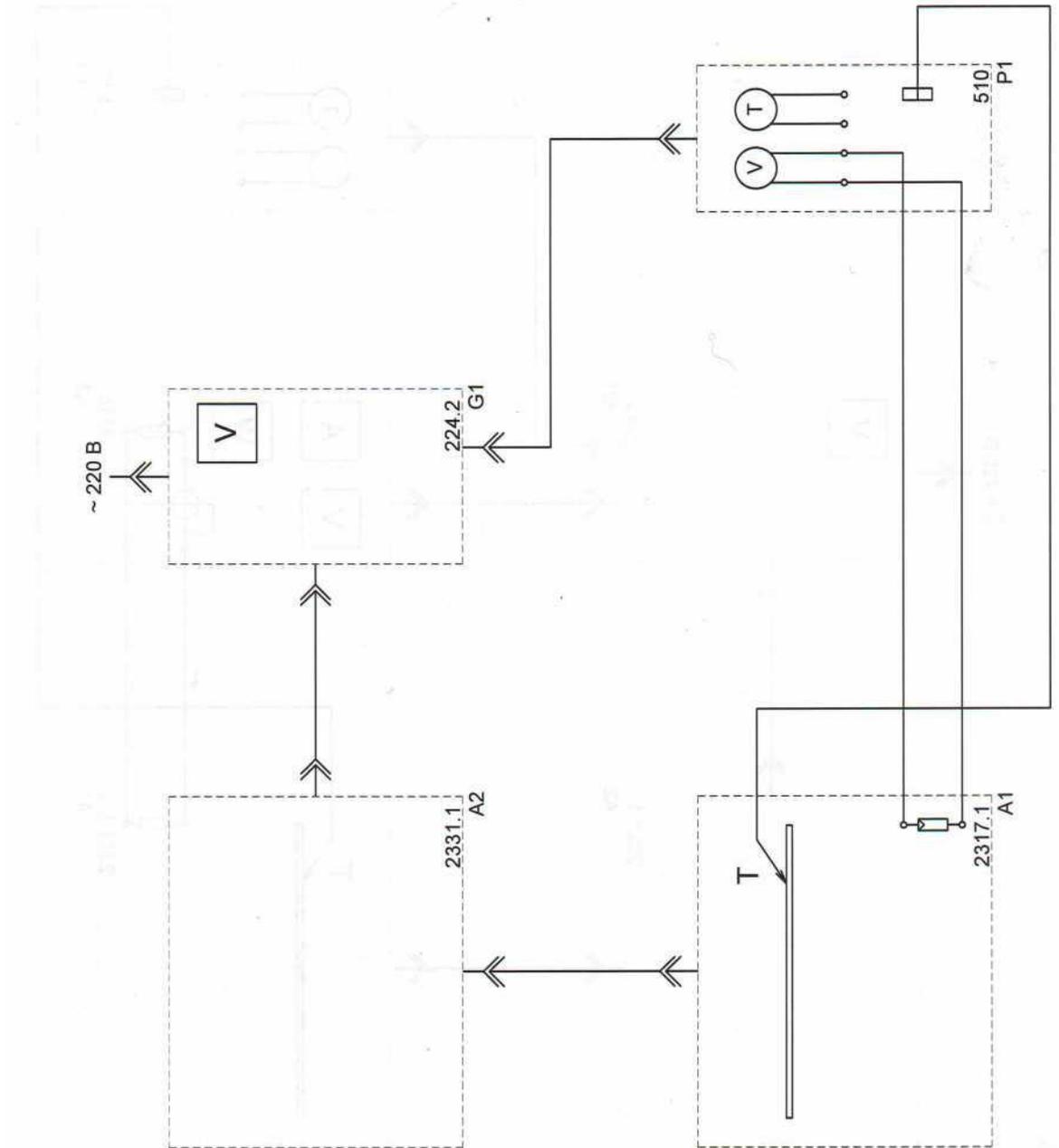


Рисунок 10 – Схема электрических соединений

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Вольт-амперная характеристика фотопреобразователя с р-п переходом.
2. Что называют напряжением холостого хода, током короткого замыкания?
3. Можно ли осуществлять короткое замыкание ФЭПа без вреда для него?
4. Выражение для напряжения холостого хода.
5. Что такое к.п.д. фотопреобразователя? Формула к.п.д.
6. Как зависят $I_{кз}$, $U_{хх}$ и к.п.д. фотопреобразователя от температуры?
7. Как зависят $I_{кз}$, $U_{хх}$ и к.п.д. фотопреобразователя от уровня освещённости?
8. Что такое коэффициент концентрации солнечного излучения?
9. Каким образом можно сконцентрировать солнечное излучение на поверхность фотопреобразователя? Причины применения энергетических устройств, состоящих из солнечной батареи и концентратора солнечного излучения?
10. Как зависит $I_{кз}$ и $U_{хх}$ от размеров солнечного фотопреобразователя?

Список литературы, рекомендованный к использованию по данной теме:

Перечень основной литературы

1. Сибикин, М.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебное пособие / М.Ю. Сибикин, Ю.Д. Сибикин. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 229 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-2717-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=257750>

2. Удалов, С.Н. Возобновляемые источники энергии : учебное пособие / С.Н. Удалов. - 3-е изд., перераб. и доп. - Новосибирск : НГТУ, 2014. - 459 с. : табл., граф., ил. - (Учебники НГТУ). - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-7782-2467-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436051>

Перечень дополнительной литературы

1. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии [Электронный ресурс] : учебное пособие / сост. И. Ю. Чуенкова. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. — 148 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63104.html>

Лабораторная работа №7

Тема: Снятие зависимости максимальной мощности фотоэлектрического модуля от его температуры $P_M=f(T)$

Цель работы: изучение аппаратуры, используемой в экспериментах, снятие зависимости максимальной мощности фотоэлектрического модуля от его температуры $P_M=f(T)$

Формируемые компетенции:

Индекс	Формулировка:
ПК-1	Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения объектов
	ИД-2_{ПК-1} Выбирает типовые проектные решения систем электроснабжения объектов

Теоретическая часть:

Основу малой энергетики России составляют дизель-генераторы (ДГ) и дизельные электростанции (ДЭС) на их основе. Как источники электроэнергии автономных систем электроснабжения они наряду с очевидными достоинствами имеют и значительные недостатки, основные из которых — большой расход органического топлива на выработку 1 кВт • ч электроэнергии и загрязнение окружающей среды. В то же время полноценной замены им пока нет.

К числу наиболее перспективных направлений повышения энергетической эффективности локальных систем электроснабжения относятся использование в энергетическом балансе регионов возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и оптимизация режимов работы основного энергетического оборудования. Так как для потребителей электроэнергии децентрализованных зон необходим гарантированный источник питания, наиболее целесообразными вариантами автономных

систем представляются ветродизельные и ветрофотодизельные энергетические установки.

Большинство находящихся в эксплуатации и предлагаемых на рынке автономных энергетических систем, использующих ВИЭ, являются технически законченными изделиями, адаптированными под строго определенный тип энергетического оборудования, не допускающими возможности расширения их функциональных возможностей и наращивания мощностей за счет подключения новых генерирующих источников. Это обусловлено главным образом существенным различием основных технических показателей генерируемой ВИЭ электроэнергии, такими, как род тока, частота и значение выходного напряжения.

Отсутствие на рынке возобновляемой энергетики универсальных устройств, обеспечивающих возможность объединения в рамках единой энергетической системы разнотипных энергетических установок с эффективным управлением

режимами работы, негативно отражается на развитии малой энергетики России, поэтому их создание является актуальной задачей.

Возможны разные варианты сопряжения ДЭС, ветроэнергетических установок (ВЭУ) и фотоэлектрических установок (ФЭУ) при работе на общего потребителя, которые могут значительно различаться как по составу используемого электрооборудования, так и по технико-экономическим характеристикам.

Система управления станцией при этом должна обеспечивать не только стратегию регулирования мощностей ДГ, ФЭУ и ВЭУ, но и синхронизацию запуска агрегатов и их дальнейшую синхронную работу.

Перечень используемого оборудования:

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Блок питания	224.2	~220 В/ 6 А
A1	Блок фотоэлектрического модуля	2317.1	12 В/ 4,8 Вт
A2	Источник света	2331.1	2 прожектора ~220 В/ 300 Вт
A3	Блок нагрузки и измерения	2318	15 В/ 0,5 А/ 5 Вт
P1	Блок мультиметров	510	3 мультиметра 0...1000 В ; 0...10 А; 0...20 МОм

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 1.4.
- Регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком).
- Установите фотоэлектрический модуль под углом 90 градусов к падающим световым лучам.

- Включите устройство защитного отключения и автоматические выключатели блока питания G1.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1.
- Активизируйте мультиметры блока P1, задействованные в эксперименте.
- Вращая регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1, по вольтметру установите напряжение сети, соответствующее энергетической освещенности $E=500 \text{ Вт/м}^2$.
- Заносите значения термометра блока мультиметров P1 (температура T поверхности фотоэлектрического модуля блока A1) и вольтметра блока мультиметров P1 (напряжение холостого хода $U_{\text{хх}}$ фотоэлектрического модуля блока A1) в таблицу 1.6. При этом не допускайте превышение температуры свыше $50 \text{ }^\circ\text{C}$.

Таблица 1.7

$T, \text{ }^\circ\text{C}$										
$P_{\text{м}}, \text{ Вт}$										

- По завершении эксперимента регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком). Отключите автоматические выключатели блока питания G1. Отключите выключатель "СЕТЬ" блока мультиметров P1 и блока нагрузки и измерения A3.
- Используя результаты табл. 1.7, постройте искомую зависимость $P_{\text{м}}=f(T)$ при $E = \text{const}$.

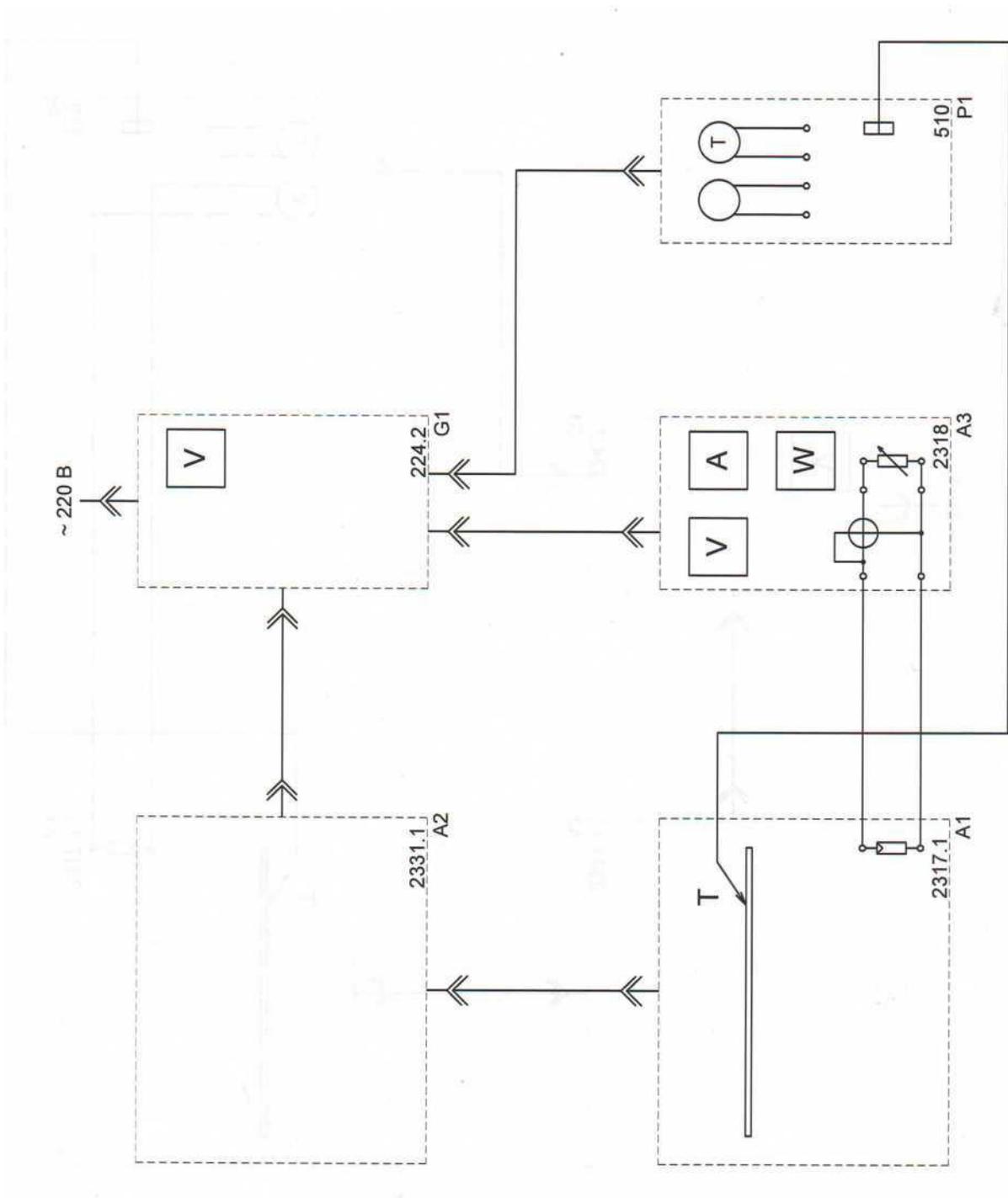


Рисунок 11 – Схема электрических соединений

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Назовите основные типы солнечных коллекторов, их преимущества, недостатки и область применения.
2. Назовите среднегодовое значение солнечной радиации на 1 м² земной поверхности для южных и северных стран.
3. Назовите преимущества и недостатки солнечных водонагревательных установок с естественной циркуляцией теплоносителя.

Список литературы, рекомендованный к использованию по данной теме:

Перечень основной литературы

1. Сибикин, М.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебное пособие / М.Ю. Сибикин, Ю.Д. Сибикин. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 229 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-2717-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=257750>
2. Удалов, С.Н. Возобновляемые источники энергии : учебное пособие / С.Н. Удалов. - 3-е изд., перераб. и доп. - Новосибирск : НГТУ, 2014. - 459 с. : табл., граф., ил. - (Учебники НГТУ). - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-7782-

2467-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL:
<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436051>

Перечень дополнительной литературы

1. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии [Электронный ресурс] : учебное пособие / сост. И. Ю. Чуенкова. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. — 148 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63104.html>

Лабораторная работа №8

Тема: Снятие режимных характеристик контроллера заряда-разряда аккумуляторной батареи

Цель работы: изучение аппаратуры, используемой в экспериментах, снятие режимных характеристик контроллера заряда-разряда аккумуляторной батареи

Формируемые компетенции:

Индекс	Формулировка:
ПК-1	Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения объектов
	ИД-2_{ПК-1} Выбирает типовые проектные решения систем электроснабжения объектов

Теоретическая часть:

Контроллер заряда-разряда аккумуляторной батареи (АКБ) несомненно является одним из важнейших компонентов солнечной электростанции(СЭС). Он выступает своеобразным связующим звеном между солнечной батареей и аккумуляторной батареей. В его основные функциональные обязанности входит:

- автоматическое подключение солнечной батареи на заряд АКБ;
- многостадийный заряд аккумуляторной батареи;
- автоматическое отключение солнечной батареи при полном заряде АКБ;
- автоматическое отключение нагрузки при установленном уровне разряда АКБ;
- переподключение нагрузки при восполнении заряда АКБ;

Все эти функции необходимы для сохранения ресурса аккумуляторной батареи, преждевременный выход из строя которой повышает расходы на обслуживание системы. Систематический перезаряд приводит к кипению

электролита и вспучиванию герметичных АКБ. Глубокий же разряд опасен для аккумуляторов тем, что ведет к сульфатации пластин и гибели АКБ. Особенно чувствительны к перезаряду и переразряду свинцово-кислотные аккумуляторы, наиболее часто применяемые в фотоэлектрических системах. Подробнее об аккумуляторных батареях, их типах, особенностях применения и многом другом читайте в разделе «Аккумуляторы».

Сейчас популярны контроллеры двух типов: технологии ШИМ (PWM) - широтно-импульсная модуляция (Pulse-width modulation) и MPPT - поиск точки максимальной мощности (Maximum Power Point Tracking). Существовавшие ранее модели контроллеров отключали солнечный модули при полной зарядке АКБ путем их закорачивания. Это ограничивало область применения подобных контроллеров лишь солнечными батареями, которые не боятся короткого замыкания. Контроллер с ШИМ - это последовательный контроллер и он отключает зарядку не закорачивая солнечные модули. Его алгоритм работы позволяет достигать 100% уровень зарядки аккумулятора. Происходит это в 4 стадии, которые выполняются автоматически в зависимости от фактического уровня заряда АКБ:



Рисунок 12 – Стадии управления зарядки АКБ

1) Стадия Основной заряд/Накопление/Bulk. Когда АКБ получает полностью весь ток солнечной батареи;

2) Стадия Поглощающий заряд/Насыщение/Absorbtion/ШИМ заряд. Когда напряжение на АКБ достигает определенного уровня, контроллер начинает поддерживать постоянное напряжение за счет ШИМ тока заряда. Это позволяет избежать перегрева и газообразования в аккумуляторе. Ток уменьшается по мере заряда АКБ;

3) Стадия Поддерживающий заряд/Равновесие/Float. Когда АКБ полностью заряжена, зарядное напряжение уменьшается для предотвращения дальнейшего нагрева или газообразования в батарее. АКБ поддерживается в заряженном состоянии;

4) Стадия Уравновешивающий заряд (выравнивание/equalization). Только для АКБ открытого типа. Многие батареи с жидким электролитом улучшают свою работу при периодическом заряде до газообразования, при этом выравниваются напряжения на различных банках АКБ и происходит очищение пластин и перемешивание электролита. Зарядка аккумуляторов уравнивательным зарядом – это метод контролируемой перезарядки, который предусматривает перемешивание электролита и восстанавливает неиспользуемые зоны материала пластин, что полностью восстанавливает емкость аккумуляторов. Процесс стадии выравнивания сопровождается большим газовыделением - образуются газообразные водород и кислород. Во избежание взрыва необходимо предусмотреть достаточную вентиляцию и устранить все источники зажигания.

Большинство контроллеров имеют неизменные пользовательские (заводские) настройки режимов заряда. Наиболее правильный же заряд АКБ обеспечивают контроллеры, позволяющие настройку типа, емкости АКБ, напряжений заряда, рекомендованных производителем АКБ.

ШИМ-контроллеры обычно применяются в небольших системах от 100 Вт до 2 кВт, где нужна зарядка аккумуляторов небольшой емкости и установлено немного модулей. Некоторые из них имеют как светодиодную

индикацию, так и LCD-экраны, на которые выводится вся текущая информация о работе системы. Ниже приводятся в виде таблицы сокращенные технические характеристики ШИМ-контроллера на примере Steca PR3030:

Когда напряжение на АБ достигает определенного значения, алгоритм ШИМ постепенно снижает ток заряда для предотвращения перегрева, вздухания или закипания аккумуляторов. Однако заряд АБ продолжается для достижения максимального количества энергии, запасаемой в АБ. Более того, сокращается время заряда. Результатом является более высокий КПД процесса заряда, быстрый заряд и полностью заряженная батарея. Аккумуляторы, которые заряжаются с использованием алгоритма ШИМ, будут поддерживаться при очень высоком среднем уровне заряженности в типичной солнечной системе электроснабжения.

Кроме обеспечения более высокой резервной емкости в системе, срок службы аккумуляторной батареи может быть значительно увеличен. При использовании алгоритма ШИМ выравнивание элементов возможно и при более низких напряжениях. ШИМ заряд позволяет поддерживать отдельные элементы аккумуляторной батареи в более сбалансированном состоянии. Это важно при использовании герметичных аккумуляторов, которые не допускают газовыделения.

Также, это очень полезно при использовании при заряде аккумуляторов от солнечных батарей, так как на практике в солнечных системах электроснабжения очень редко бывают случаи, когда возможно поддержание напряжения на АБ на высоком уровне в течение длительного времени.

Специальное исследование контроллеров с ШИМ показало, что контроллеры повышали восприимчивость АБ к заряду именно вследствие использования широтно-импульсной модуляции тока заряда. Контроллеры ШИМ позволили даже увеличить эффективность заряда АБ на 2-8% даже по сравнению с контроллерами, которые поддерживали постоянно высокое напряжение на АБ. Ряд испытаний показал, что алгоритм ШИМ имеет

значительные преимущества для повышения восприимчивости АБ к заряду. Это исследование, проведенное Morningstar, было проведено в одинаковых тестовых условиях.

Контроллер с ШИМ позволял "закачать" в аккумулятор на 20%-30% больше энергии от солнечных батарей, чем on-off контроллер.

Перечень используемого оборудования:

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Блок питания	224.2	~220 В/ 6 А
A1	Блок фотоэлектрического модуля	2317.1	12 В/ 4,8 Вт
A2	Источник света	2331.1	2 прожектора ~220 В/ 300 Вт
A3	Блок нагрузки и измерения	2318	15 В/ 0,5 А/ 5 Вт
A4	Контроллер заряда-разряда (с встроенным емкостным накопителем-аккумулятором)	2316.2	21В/ 1А/ 16,6 Ф
P1	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметра 0...1000 В ; 0...10 А; 0...20 МОм

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 2.1.
- Регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком).
- Регулировочную рукоятку «НАГРУЗКА» блока нагрузки и измерения A3 поверните против часовой стрелки до упора.
- Установите фотоэлектрический модуль под углом 90 градусов к падающим световым лучам.
- Включите устройство защитного отключения и автоматические выключатели блока питания G1.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1 и блока нагрузки и измерения P2.
- Активизируйте мультиметры блока P1, задействованные в эксперименте.
- Вращая регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1, по вольтметру установите напряжение сети, соответствующее энергетической освещенности E равной, например, 400 Вт/м².
- Дождитесь когда загорится (если он не горит) правый красный светодиод панели индикаторов «СОСТОЯНИЕ АККУМУЛЯТОРА» контроллера A4 и с этого момента начните по часам отсчет времени.

- Заносите прошедшее с момента начала отсчета время t (с интервалом, например 1 мин.) и соответствующие ему показания амперметра и вольтметра блока АЗ (ток I_M и напряжение U_M фотоэлектрического модуля), амперметра и вольтметра контроллера А4 (ток заряда I_3 и напряжение U аккумулятора) в таблицу 2.1.

Таблица 2.1

t , мин										
I_M , А										
U_M , В										
I_3 , А										
U , В										

- Фиксируйте изменения состояния индикаторов «РЕЖИМ» и «СОСТОЯНИЕ АККУМУЛЯТОРА» на лицевой панели контроллера заряда - разряда А4 и моменты времени, когда эти изменения происходят

- Через минуту после снижения тока I_M фотоэлектрического модуля до 0,1 А поверните регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 против часовой стрелки до упора (со щелчком).

- Регулировочной рукояткой «НАГРУЗКА» блока нагрузки и измерения АЗ установите ток разряда I_p аккумулятора равным, например, 0,5 А и с этого момента начните по часам отсчет времени

- Заносите прошедшее с момента начала отсчета время t (с интервалом, например 1 мин.) и соответствующие ему показания амперметра (ток разряда I_p аккумулятора) и вольтметра (напряжение U аккумулятора) контроллера заряда-разряда А4 в таблицу 2.2.

t , мин										
I_p , А										
U , В										

- Фиксируйте изменения состояния индикаторов «РЕЖИМ» и «СОСТОЯНИЕ АККУМУЛЯТОРА» на лицевой панели контроллера заряда - разряда А4 и моменты времени, когда эти изменения происходят.
- По завершении эксперимента регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком). Отключите автоматические выключатели блока питания G1. Отключите выключатель "СЕТЬ" блока мультиметров P1 и блока нагрузки и измерения АЗ.
- Используя данные таблиц 2.1 и 2.2 постройте искомые режимные характеристики $I_M=f(t)$, $U_M=f(t)$, $I_3=f(t)$, $I_p=f(t)$, $U=f(t)$ контроллера заряда - разряда аккумуляторной батареи.

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Как устроена батарея солнечных элементов?
2. В каких странах и для каких целей активно используются солнечные батареи?
3. До какой температуры нагреты внешние неактивные слои Солнца?

Список литературы, рекомендованный к использованию по данной теме:

Перечень основной литературы

1. Сибикин, М.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебное пособие / М.Ю. Сибикин, Ю.Д. Сибикин. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 229 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-2717-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=257750>

2. Удалов, С.Н. Возобновляемые источники энергии : учебное пособие / С.Н. Удалов. - 3-е изд., перераб. и доп. - Новосибирск : НГТУ, 2014. - 459 с. : табл., граф., ил. - (Учебники НГТУ). - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-7782-2467-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436051>

Перечень дополнительной литературы

1. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии [Электронный ресурс] : учебное пособие / сост. И. Ю. Чуенкова. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. — 148 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63104.html>

Лабораторная работа №9

Тема: Моделирование режимов работы автономной фотоэлектрической солнечной электростанции

Цель работы: изучение аппаратуры, используемой в экспериментах, моделирование режимов работы автономной фотоэлектрической солнечной электростанции

Формируемые компетенции:

Индекс	Формулировка:
ПК-1	Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения объектов
	ИД-2_{ПК-1} Выбирает типовые проектные решения систем электроснабжения объектов

Теоретическая часть:

При использовании фотоэлектрических станций (ФЭС) в системах электроснабжения изолированных потребителей, в большинстве практических случаев, они работают в составе гибридных энергетических комплексов с несколькими генерирующими источниками соизмеримой мощности.

При этом гибридные системы могут существенно различаться по составу источников энергии, структуре построения, способам управления режимами. Важнейшей задачей проектирования гибридных систем с возобновляемыми энергоисточниками является согласование режимов производства и потребления энергии, для чего требуется высокая дискретизация прогнозной выработки электрической энергии различными источниками: от среднесуточной до почасовой.

Тщательный анализ энергетического баланса необходим для решения таких задач проектирования, как оптимизация соотношения установленных

мощностей генерирующих источников, выбора параметров регулирующих устройств и настройки систем управления.

Основная проблема достоверного определения энергетического баланса ФЭС заключается в том, что непосредственное влияние на него оказывают разнообразные факторы, многие из которых имеют стохастическую природу.

Например, на энергетические характеристики фотоэлектрических преобразователей существенное влияние оказывает интенсивность солнечного излучения и температура окружающего воздуха. Величина солнечной радиации определяет величину фототока фотоэлектрических модулей (ФМ), а температура окружающей среды оказывает определяющее влияние на температуру поверхности солнечной батареи (СБ), от которой практически линейно зависит величина напряжения холостого хода ФМ [6–8].

Нелинейность характеристик основных элементов ФЭС, а также их зависимость от внешних факторов существенно усложняют решение обозначенной задачи, что вызывает необходимость применения методов математического моделирования.

Основными элементами автономной ФЭС являются: СБ, состоящая из набора последовательно параллельно соединенных ФМ; преобразователь постоянного напряжения, работающий под управлением контроллера поиска точки максимальной мощности; накопитель энергии на базе аккумуляторов и выходной инвертор напряжения. Часто для повышения энергетической эффективности ФЭС ее дополнительно комплектуют системой слежения за Солнцем. В этом случае в состав ФЭС также будет входить блок управления солнечным трекером и исполнительный механизм следящей системы, построенный на базе двигателей с редукторами.

Необходимым условием построения комплексной модели электростанции является согласование моделей элементов в составе единой

энергетической системы, что определяет выбор единого универсального инструмента моделирования.



Рисунок 14 – Модель фотоэлектрической солнечной электростанции

Перечень используемого оборудования:

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Блок питания	224.2	~220 В/ 6 А
A1	Блок фотоэлектрического модуля	2317.1	12 В/ 4,8 Вт
A2	Источник света	2331.1	2 прожектора ~220 В/ 300 Вт
A3	Блок нагрузки и измерения	2318	15 В/ 0,5 А/ 5 Вт
A4	Контроллер заряда-разряда (с встроенным емкостным	2316.2	21В/ 1А/ 16,6 Ф

	накопителем-аккумулятором)		
P1	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметра 0...1000 В ; 0...10 А; 0...20 МОм

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 2.1.
- Регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком).
- Регулировочную рукоятку «НАГРУЗКА» блока нагрузки и измерения АЗ поверните против часовой стрелки до упора.
- Установите фотоэлектрический модуль под углом 90 градусов к падающим световым лучам.
- Включите устройство защитного отключения и автоматические выключатели блока питания G1.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1 и блока нагрузки и измерения P2.
- Активизируйте мультиметры блока P1, задействованные в эксперименте.

- Вращая регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1, по вольтметру установите напряжение сети, соответствующее энергетической освещенности E равной, например, 400 Вт/м².

- Дождитесь когда загорится (если он не горит) правый красный светодиод панели индикаторов «СОСТОЯНИЕ АККУМУЛЯТОРА» контроллера А4 и с этого момента начните по часам отсчет времени.

- Вращая регулировочные рукоятки «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания Ши «НАГРУЗКА» блока нагрузки и измерения А3 добейтесь работы модели фотоэлектрической солнечной электростанции в следующих режимах:

- - фотоэлектрический модуль заряжает аккумулятор без внешней нагрузки;

- фотоэлектрический модуль заряжает аккумулятор и одновременно питает внешнюю нагрузку;

- фотоэлектрический модуль питает внешнюю нагрузку без аккумулятора;

- фотоэлектрический модуль и аккумулятор одновременно питают внешнюю нагрузку;

- накопитель электрической энергии питает внешнюю нагрузку без аккумулятора.

- По завершении эксперимента регулировочную рукоятку «РЕГУЛЯТОР ОСВЕЩЕННОСТИ» блока питания G1 поверните против часовой стрелки до упора (со щелчком). Отключите автоматические выключатели блока питания G1. Отключите выключатель "СЕТЬ" блока мультиметров Р1 и блока нагрузки и измерения А3.

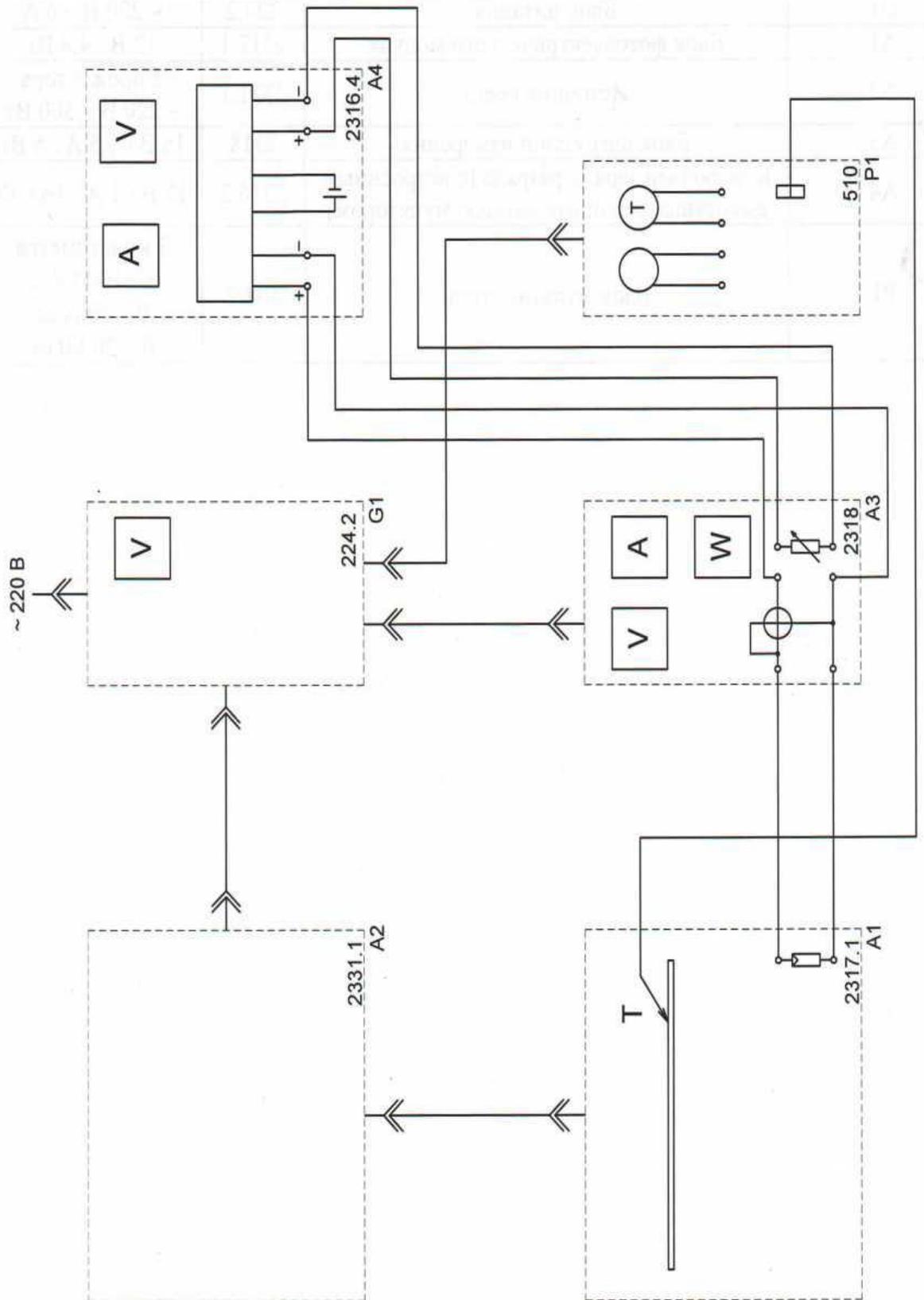


Рисунок 15 – Схема электрических соединений

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Какое значение имеет наибольшая интегральная плотность потока солнечного излучения, приходящего на Землю (в полдень в тропиках)?
2. Чему равна энергия фотонов в максимуме спектрального распределения солнечного излучения?
3. В каком виде энергии выгоднее всего аккумулировать и использовать энергию Солнца в средней полосе России?
4. Дайте характеристику активным и пассивным системам солнечного отопления.
5. Как устроен и как работает плоский коллектор солнечной энергии?
6. Для чего верхнюю поверхность абсорбера окрашивают в чёрный цвет или покрывают спектрально-селективными слоями?

Список литературы, рекомендованный к использованию по данной теме:

Перечень основной литературы

1. Сибикин, М.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебное пособие / М.Ю. Сибикин, Ю.Д. Сибикин. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 229 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн. -

ISBN 978-5-4475-2717-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL:
<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=257750>

2. Удалов, С.Н. Возобновляемые источники энергии : учебное пособие / С.Н. Удалов. - 3-е изд., перераб. и доп. - Новосибирск : НГТУ, 2014. - 459 с. : табл., граф., ил. - (Учебники НГТУ). - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-7782-2467-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL:
<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436051>

Перечень дополнительной литературы

1. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии [Электронный ресурс] : учебное пособие / сост. И. Ю. Чуенкова. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. — 148 с. — 2227-8397. — Режим доступа:
<http://www.iprbookshop.ru/63104.html>

Приложение А

Указание по технике безопасности

До начала работы студенты обязаны изучить правила техники безопасности при работе с электроустановками. Об изучении правил техники безопасности и получении инструктажа студенты расписываются в специальном журнале. Студенты, не изучившие правила техники безопасности и не прошедшие инструктаж, к выполнению лабораторных работ не допускаются.

Учебная группа (или подгруппа) разбивается на бригады, число которых указывается преподавателем, а состав бригад комплектуется студентами на добровольных началах. Список группы (подгруппы), разбитой на бригады, староста предоставляет преподавателю, ведущему лабораторные занятия.

Каждая из бригад выполняет лабораторную работу в соответствии с графиком, находящемся в лаборатории.

Перед каждым занятием студент обязан подготовиться к выполнению лабораторной работы по данному методическому пособию и рекомендуемой литературе. Перед началом работы преподаватель проверяет знания студентов по содержанию выполняемой работы. Плохо подготовленные студенты к выполнению лабораторной работы не допускаются.

Работая в лаборатории, необходимо соблюдать следующие правила:

К выполнению лабораторной работы следует приступать только после полного уяснения ее содержания и получения допуска к ней.

2. Начинать работу следует с ознакомления с приборами и оборудованием, применяемыми в данной работе.

3. На лабораторном столе должны находиться только предметы, необходимые для выполнения данной работы.

4. Расположение аппаратуры на рабочем столе должно быть таким, чтобы схема соединений получилась наиболее простой, наглядной и работа с аппаратурой была удобной.

5. Желательно, чтобы схему собирал один из членов бригады, а другие контролировали.

6. При сборке сложных схем следует вначале соединить главную, последовательную цепь, начиная сборку от одного зажима источника тока и заканчивая на другом, а затем уже подключить параллельные цепи.

7. После того, как схема будет собрана, необходимо убедиться в правильной установке движков реостатов, автотрансформаторов и рукояток других регулирующих устройств.

8. Собранная схема обязательно должна быть проверена преподавателем или старшим лаборантом и только с их разрешения может быть включена под напряжение.

9. При включении схемы особое внимание следует обратить на показания амперметров и других измерительных приборов. В случае резкого движения стрелки амперметра к концу шкалы схему необходимо немедленно отключить от источника напряжения.

10. Необходимо бережно относиться к аппаратуре, используемой в работе. Обо всех замеченных неисправностях или повреждениях студент должен немедленно сообщить преподавателю или лаборанту.

11. После выполнения работы студент обязан, не разбирая схемы показать полученные данные преподавателю. Если результаты измерений верны, то преподаватель их подписывает. Эксперимент с неправильными результатами следует повторить.

12. Схему следует разбирать только после ее отключения от сети.

13. Категорически запрещается:

– трогать руками оголенные провода и части приборов, находящиеся под напряжением, даже если оно невелико;

- производить изменения в схеме при подключенном источнике питания;
- заменять или брать оборудование, или приборы с других рабочих мест
- без разрешения преподавателя или лаборанта;
- отходить от приборов и машин, находящихся под напряжением или оставлять схему под напряжением при обработке результатов измерений;
- перегружать приборы током или напряжением, превышающим номинальное значение.

Проверку наличия, подаваемого к схеме или элементам схемы напряжения необходимо производить только контрольной лампочкой или вольтметром, соблюдая правила техники безопасности.

При работе в лаборатории следует строго соблюдать меры предосторожности, так как электрический ток, проходящий через тело человека, величиной в 0,025 А уже является опасным для жизни.