

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет энергетический


Кафедра Автоматизации производственных процессов и электротехники

Направление подготовки 15.03.04 - Автоматизация технологических
процессов и производств

Направленность (профиль) образовательной программы Автоматизация
технологических процессов и производств в энергетике

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

И.о.зав. кафедрой


 О.В. Скрипко
« 26 » 06 2021 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Автоматизированная система измерения параметров электрической
энергии фотоэлектрической установки

Исполнитель


студент группы 741об

 11.06.2021
(подпись, дата)

Р.А. Шипилов

Руководитель


доцент, канд.техн.наук

 11.06.2021
(подпись, дата)

В.И. Усенко

Консультант по безопасности
и экологичности

доцент, канд.физ.-мат.наук

 11.06.2021
(подпись, дата)

В.Н. Аверьянов

Нормоконтроль

профессор, д-р техн.наук

 26.06.2021
(подпись, дата)

О.В. Скрипко


Благовещенск 2021

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет Энергетический
Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники

УТВЕРЖДАЮ

И.о.зав. кафедрой


подпись

О.В. Скрипко
И. О. Фамилия

« 26 » 06 2021 г.

ЗАДАНИЕ

К выпускной квалификационной работе студента 741 группы Шипилова Романа Александровича

1. Тема выпускной квалификационной работы: Автоматизированная система измерения параметров электрической энергии фотоэлектрической установки

(утверждена приказом от 23.04.21. № 812-уч)

2. Срок сдачи студентом законченной работы: 15 июня 2021 года.

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: Технические характеристики фотоэлектрической установки.

4. Содержание выпускной квалификационной работы:

- 1) Разработка структурно – функциональной схемы системы измерения параметров электрической энергии фотоэлектрической установки;
- 2) Расчёт и выбор оборудования системы измерения СЭС
- 3) Разработка принципиальной схемы системы измерения параметров электрической энергии фотоэлектрической установки;
- 4) Разработка системы измерения основных параметров СЭС;
- 5) Разработка программы системы измерения параметров электрической энергии фотоэлектрической установки.

6) Монтаж фотоэлектрической установки и проведение опытов

5. Перечень материалов приложения (наличие чертежей, таблиц, графиков,

схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.):

Лист 1: Структурно-функциональная и принципиальная схемы

Лист 2: Приборы и их схемы

Лист 3: Схемы измерений

Лист 4: Средства автоматизации и приборы, используемые при проведении опытов

Лист 5: Вольт-амперные характеристики

Лист 6: Инвертор

6. Дата выдачи задания *02.11.2020*

Руководитель выпускной квалификационной работы: Усенко Валентин Иванович, доцент, канд. тех. наук

(фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, ученое звание)

Задание принял к исполнению (дата): *02.11.2020*

Шуф

(подпись студента)

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 62 с., 38 рисунков, 5 таблиц, 22 источника.

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ, ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА, ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ, ARDUINO, АЛГОРИТМ, НАПРЯЖЕНИЕ, РАЗРАБОТКА, НАПРЯЖЕНИЕ, ТОК, ИНВЕРТОР.

Объект автоматизации – система, измеряющая параметры электрической энергии фотоэлектрической установки.

Цель работы – создание автоматизированной системы измерения параметров электрического тока фотоэлектрической установки с использованием Arduino.

Новизной предлагаемых в проекте решений является применение Arduino, а также применение фотоэлектрической установки как для выработки электроэнергии, так и для измерения напряжений с фотопанели, контроля заряда и напряжения.

Основные конструктивные и технико-эксплуатационные характеристики: система состоит из солнечного контроллера, фотоэлектрической установки с аккумуляторами, преобразователя напряжения и Arduino.

Созданная установка будет использоваться в робототехнике; в малой или альтернативной электроэнергетике энергетике в качестве устройства, которое накапливает избыток электроэнергии, вырабатываемый источником с непостоянной генерацией; в качестве автономного источника питания отдельных устройств; в системах охранной и пожарной сигнализации в качестве источников аварийного питания; для энергоснабжения отдельных домов; в качестве аварийного питания в любой из сфер.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	6
1 Объект автоматизации	8
1.1 Современные фотопанели. Основные виды солнечных панелей	9
1.1.1 Монокристаллические солнечные панели	10
1.1.2 Поликристаллические солнечные панели	11
1.1.3 Разница между монокристаллом и поликристаллом	12
1.1.4 Преимущества и недостатки монокристаллических модулей	12
1.1.5 Преимущества и недостатки поликристаллических модулей	12
1.1.6 Основные отличия модулей	13
1.1.7 Аморфные солнечные панели	14
1.2 Структурно – функциональная схема	14
2 Расчёт и выбор оборудования системы измерения СЭС	17
2.1 Расчёт мощности фотопанели и ёмкости накопителя электроэнергии	17
2.2 Расчет фотоэлектрической установки	19
2.3 Выбор Контроллера заряда солнечной батареи	20
2.3.1 Функции контроллера	23
2.4 Выбор аккумулятора	24
2.5 Выбор Инвертора	25
3 Разработка системы измерения основных параметров СЭС	27
3.1 Разработка принципиальной электрической схемы	27
3.2 Выбор приборов	28
3.2.1 Выбор микроконтроллерной платы	28
3.2.2 Выбор датчика тока	30
3.2.3 Выбор резисторов	33
3.2.4 Выбор дисплея	33
3.3 Моделирование схемы в Proteus	34
3.4 Программирование	35
3.4.1 Разработка исходного текста программы	35
3.4.2 Тестирование устройства	37

4 Монтаж фотоэлектрической установки и проведение опытов	39
4.1 Монтаж системы для снятия вольт-амперной характеристики	40
4.1.1 Сборка и подбор оборудования	40
4.1.2 Выбор клеммных колодок	43
4.1.3 Двухполюсный выключатель	44
4.1.1 Автоматический выключатель	46
4.2 Снятие вольт-амперных характеристик	48
4.2.1 Замеры токов и напряжений	48
5 Безопасность И Экологичность	55
5.1 Основные опасные и вредные факторы на рабочем месте инженера (разработчика контроллеров).	55
5.1.1 Пожар	55
5.1.2 Поломка контроллера	55
5.1.3 При обнаружении других неисправностей	55
5.2 Техника безопасности при эксплуатации фотоэлектрической установки	56
5.2.1 Расчет автоматического выключателя для фотоэлектрической установки	56
5.2.2 Заземление	58
5.3 Экологичность	59
Заключение	61
Библиографический список	62

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, фотоэлектрические установки имеют большую популярность, но несмотря на это, есть некоторые сложности в их использовании и установке. Дело в том, что напряжение и ток, вырабатываемые фотоэлектрической установкой, напрямую зависят от количества солнечного света, падающего на фотоэлементы. В следствии того, что на разных территориях страны количество солнечного света может значительно варьироваться, фотоэлектрические установки могут быть просто не выгодными с точки зрения окупаемости. Вместе с этим КПД фотоэлектрической установки, в зависимости от сборки, 5-20%.

Основные недостатки:

- низкий КПД;
- большая занимаемая площадь;
- высокая стоимость аккумулирования энергии;
- высокая стоимость самой установки;
- не работает ночью.

К достоинствам можно отнести:

- доступность;
- возобновляемость источника энергии;
- бесшумность;
- экологическая чистота

Амурская область является регионом с довольно продолжительным дневным временем, а значит является благоприятным регионом для постройки фотоэлектрической установки. Но нужно выяснить, будет ли это выгодно с экономической точки зрения.

Существует много фирм, предлагающих свои фотоэлектрические системы. Главный минус, предлагаемых ими систем, их цена, которая варьируется от 10 тыс. руб. до 2 млн. руб. Конечно, и сегодня ведутся разработки, которые позволят удешевить создание таких установок.

Занимаясь созданием и монтажом как отдельных фотопанелей, так и полноценных солнечных электростанций, следует учитывать много факторов, как например, количество света в данной местности. Количество вырабатываемой электроэнергии зависит от таких факторов, поэтому перед монтажом полноценной системы, следует проверить, будет ли выгодной такая система. Для решения этого вопроса мы и создадим автоматическую систему, позволяющую в автоматическом режиме собирать информацию об энерговыработке с фотопанели, фиксировать её. На основе этих данных будут сделаны расчёты и выводы об эффективности.

Также соберём полноценную систему, которая будет в автоматическом режиме следить за зарядом и разрядом аккумуляторов, а также адаптироваться под нагрузку в сети. Для решения этой задачи необходимо провести некоторые расчёты и разобраться в работе самой фотопанели.

Первый вопрос который приходит многим голову: зачем вообще делать вольтамперметр на arduino? Казалось бы, полно готовых китайских цифровых вольтметров амперметров кому не нравятся цифровые есть стрелочные варианты хоть современные хоть старые советские на любой вкус и цвет. Лично мне для проекта потребовалось снимать данные по напряжению и току и производить с ними простые арифметические действия и результаты выводить на экран. поэтому было принято решение воспользоваться вариантом с arduino. Главная проблема была как получить данные достаточной точности об этом дальше и пойдет речь.

Главной целью разработки системы является сбор данных о вырабатываемых напряжении и токе фотоэлектрической панели в течении года. Разрабатываемая система позволит в автоматическом режиме собирать показания и систематизировать их.

Собранные показания в дальнейшем можно будет проанализировать и рассчитать: средние вырабатываемые напряжение и ток за год; среднегодовую выработку электроэнергии; площадь необходимую для монтажа целостной СЭС

1 ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ

Солнечная панель – ключевой элемент, отличающий солнечную электростанцию от других видов систем ВИЭ. Служит первичным преобразователем световой энергии Солнца в электрическую. В общем виде солнечная панель является объединением некоторого количества фотоэлементов, которые являются полупроводниками. Материал, типы, размеры и количество солнечных панелей в одной электростанции могут варьироваться, причем нередко оптимальное проектное решение связано с комбинацией различных солнечных панелей в одной станции.

В настоящее время, благодаря развитию технологий и постоянно растущему интересу к возобновляемым источникам энергии, промышленностью выпускается большое количество разнообразных видов солнечных панелей, которые различаются по конструкции, используемым материалам, техническим характеристикам и цене.

ФЭУ (рисунок 1), используемая в разработке системы имеет следующие характеристики:

модель SF-200

кремниевые фотоэлементы - КПД 6-8 %

максимальная выходная мощность - 100 W

максимальное напряжение - 18,5 V

максимальный ток - 5,41 A

ток короткого замыкания - 5,75A

напряжение холостого хода - 22,7 V

допуск мощности составляет ($\pm 3\%$)

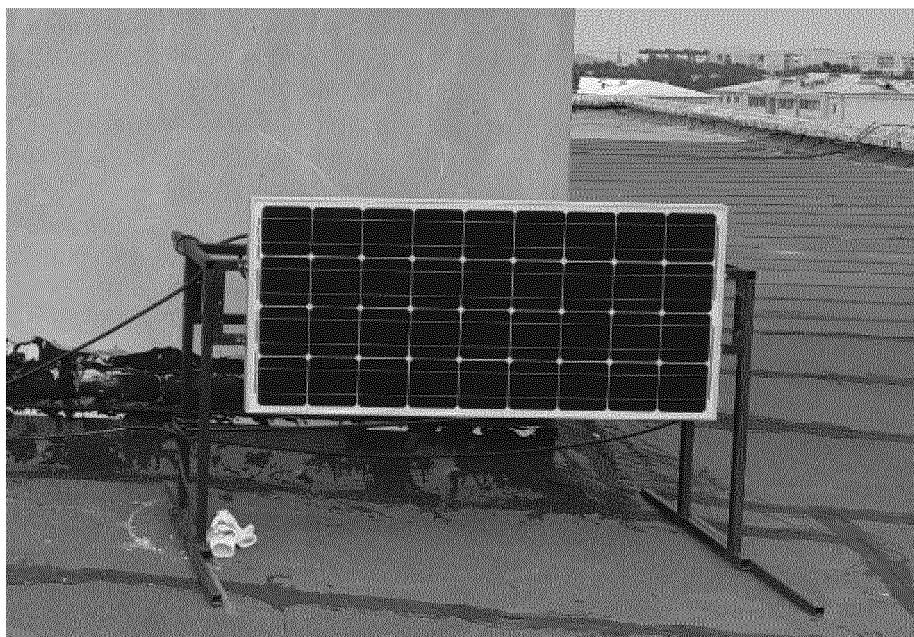


Рисунок 1 – Фотоэлектрическая установка

1.1 Современные фотопанели. Основные виды солнечных панелей

Современные проблемы энергетики делают различные виды солнечных панелей более востребованными и популярными. Благодаря развитию современных технологий солнечные панели становятся все более энергоэффективными. Происходит непрерывный рост спроса на экологичные и доступные источники электроэнергии.

На рынке имеется огромное множество солнечных панелей, что существенно усложняет их выбор. Любой человек, который решил обзавестись экологическим и безопасным источником энергии, попытается разобраться в классификации солнечных панелей. Попробуем понять какой вариант лучше подобрать для тех или иных условий использования.

Классификация солнечных панелей основана на типе производства, принципе действия, а также используемом материале. Солнечные панели могут быть пленочного и кремниевого типа. Кремниевые солнечные панели подразделяются на монокристаллические, поликристаллические и аморфные. Панели пленочного типа бывают следующих типов:

- с использованием теллурида кадмия;
- на базе селенида меди;

полимерные;
кремниевые солнечные панели.

Ключевая особенность солнечных панелей кремниевого типа заключается в материале, который используется при их непосредственном производстве. Панели кремниевого типа сегодня пользуются наибольшим спросом и популярностью на местном рынке. Столь большая востребованность обуславливается тем, что кремний широко распространен, доступен и обладает относительно небольшой стоимостью. Солнечные панели на основе кристаллов кремния обладают высокими показателями производительности. При производстве солнечных панелей применяются монокристаллы, поликристаллы и аморфный кремний. Попробуем разобраться, в чем же заключается их отличие между собой.

1.1.1 Монокристаллические солнечные панели

При производстве солнечных панелей данного типа используется кремний самой высокой степени очистки. Монокристаллические солнечные панели легко отличить по специфической форме элементов - с характерно скругленными углами, из-за чего готовое изделие немного напоминает соты. Монокристалл разрезается на тонкие пластины, толщина которых не превышает 250-300 мкм. Полученные элементы соединяются между собой посредством использования специальных электродов. Монокристаллические солнечные панели стоят ощутимо дороже своих аналогов, так как технология их производства весьма сложна. Монокристаллические солнечные панели обладают высокими показателями производительности, уровень их КПД варьируется в пределах от 18 до 25 процентов. На современном уровне развития фотоэлектрических технологий этот показатель считается весьма высоким.

Это технология, которая привела к революции в фотоэнергетике. Первые коммерческие монокристаллические модули появились в 1950-х годах и являются самыми первыми и самыми «продвинутыми» модулями на современном рынке. Производители для формирования слитка используют метод Чохральского для постепенного выращивания кристалла кремния из расплава. В каче-

стве «затравки» используется маленький кристалл чистого кремния. По мере роста кристалла вокруг «затравки», его температура кремния постепенно падает, тем самым формируется кристалл чистого кремния цилиндрической формы.

Монокристаллические модули можно отличить по их однородному цвету и структуре, что является признаком высокочистого кремния.

1.1.2 Поликристаллические солнечные панели

При производстве элементов поликристаллической солнечной панели, кремниевый расплав подвергается постепенному охлаждению. При изготовлении поликристаллических солнечных элементов затрачивается существенно меньше энергии, технология их производства проще и дешевле, за счет чего поликристаллические элементы значительно дешевле монокристаллических. Это справедливо и для стоимости итогового изделия - солнечной панели. Однако, КПД поликристаллических солнечных панелей существенно ниже - как правило, 12-18%. Это обстоятельство приводит, в частности, к тому, что поликристаллические панели одинаковой мощности тяжелее и больше по площади, чем монокристаллические. Известны утверждения со ссылкой на "практику" о том, что поликристаллические панели лучше работают в условиях низкой солнечной активности. За счет того, что поверхность элемента неоднородна, модуль поглощает солнечные лучи под разными углами, менее чувствителен к освещению в целом и лучше работает, например, в условиях облачности.

Поликристаллические солнечные панели сделаны из солнечных элементов с множеством кристаллов. Вместо медленного и очень дорогого процесса выращивания единого кристалла, производители просто опускают кристаллическую «затравку» в ванну с расплавленным кремнием и дают ему остыть. При этом формируются разнонаправленные кристаллы, они небольшие и их много. Из такого большого кристалла нарезаются прямоугольные слитки, а потом из них – пластины. Отсюда и название – мультикристаллические (или поликристаллические, что одно и то же) солнечные элементы.

Далее процесс аналогичен производству монокристаллических солнечных элементов. На пластинах формируется p-n переход, наносятся электроды и

антиотражающее покрытие.

1.1.3 Разница между монокристаллом и поликристаллом

Разница между монокристаллическими и поликристаллическими элементами (или как их еще часто называют, «ячейками») определяется их производственным процессом. Монокристаллические солнечные элементы сделаны из единого кристалла. Они более однородны – как по внешнему виду, так и по техническим характеристикам. Поликристаллические элементы сделаны из блоков кристаллов кремния, что видно при их ближайшем рассмотрении.

1.1.4 Преимущества и недостатки монокристаллических модулей

Преимущества

Монокристаллические солнечные модули имеют самый высокий КПД (современные модули имеют КПД до 22%);

Монокристаллические модули занимают меньше места, потому что они имеют больший КПД по сравнению с другими типами солнечных модулей;

Монокристаллические модули более долговечны – большинство производителей дает как минимум 25 лет гарантии на такие панели. Причем «стареет» в монокристаллической панели не сам кремний, а то, что его окружает – покрытия, пленки, контакты и проч. Сам монокристалл обладает стабильными характеристиками в течение практически всего срока службы;

Считается, что монокристаллические модули лучше работают при низкой освещенности. Однако здесь не все так однозначно, и работа при низкой освещенности больше зависит не от типа кристалла, а от качества исполнения солнечного модуля. Здесь действует общее правило – крупный, известный производитель делает более качественные солнечные панели.

Недостатки

Монокристаллические модули дороже поликристаллических;

1.1.5 Преимущества и недостатки поликристаллических модулей

Преимущества

Они дешевле в производстве, т.к. процесс выращивания поликремния гораздо проще и менее энергоёмкий.

Они обычно меньше подвержены влиянию температуры, чем монокристаллические модули.

Недостатки

Т.к. чистота кремния в поликристалле ниже, чем в монокристалле, поликристаллические модули имеют меньший КПД. Современные поликристаллические модули имеют КПД 15-18%.

Меньшая эффективность ведет к тому, что для генерации одинакового количества энергии требуется большая площадь.

1.1.6 Основные отличия модулей

Основные отличия модулей представлены в таблице 1:

Таблица 1 – Основные отличия модулей

Параметр	Монокристаллические солнечные элементы	Поликристаллические солнечные элементы
Кристаллическая структура	Все кристаллы ориентированы в одном направлении, зерна кристаллов параллельны	Кристаллы ориентированы в разных направлениях, зерна кристаллов не параллельны
Технология производства	Монокристаллические цилиндры кремния нарезаются на пластины, затем пластины обрезаются до почти квадратной формы	Поликристаллические заготовки прямоугольной формы режутся на пластины.
Температуры изготовления	1400°C	800~1000°C
Форма	Прямоугольная, с обрезанными углами (квазипрямоугольные)	Прямоугольные или квадратные, различной формы
Толщина	≤ 300µm	300~500µm
Цвет	Черный	Темно-синий
КПД	15 – 23%	12 – 17%
Стабильность параметров	Высокая стабильность	Высокая стабильность, но ниже, чем у монокристаллических элементов
Цена	Относительно высокая	Относительно высокая, но ниже, чем у монокристаллических элементов
Окупаемость по энергии	2 года	2~3 года

1.1.7 Аморфные солнечные панели

Этот вид солнечных панелей, который можно отнести, как к пленочным, так и кремниевым. Их производство основано на использовании пленочной технологии. Но аморфные солнечные панели обладают своей отличительной особенностью. При изготовлении аморфных солнечных панелей используется не кристаллический кремний, а силан - гидрид кремния, кремневодород или кремнийорганический полимер. Данный материал наносится на подложку внутри структуры самой батареи. Аморфные солнечные панели обладают наименьшим показателем эффективности и производительности, их КПД приравнивается к 5%. Однако, у данной технологии имеются и достоинства:

Высокие показатели поглощения потока солнечных лучей (оптическое поглощение в 20 раз выше, чем у моно и поликристаллов, за счет этого можно использовать пленки аморфного кремния толщиной всего 0,5 - 1,0 мкм);

Производство аморфного кремния - безотходно, за счет этого стоимость аморфных панелей ниже кристаллических;

Эластичность и гибкость панелей;

Эффективная работа панелей из аморфного кремния при пасмурной погоде и облачности.

Также имеется технологическая возможность соединения между собой свойств аморфных, поликристаллических и монокристаллических солнечных панелей в один гибридный вариант. Встречаются описания двухфазного материала, представляющего собой аморфный кремний с включениями микрокристаллов, данный материал по своим свойствам близок к поликристаллическому кремнию.

1.2 Структурно – функциональная схема

С фотопанели (FP), под действием солнечного света, вырабатывается электроэнергия напряжением около 22В и силой тока около 8А. Для сбора данных об энерговыработке была использована платформа Arduino. Максимальное входное напряжение платы не выше 5В. Для безопасной работы платы мы ис-

пользуем делитель напряжения изготовленный из двух резисторов (порт A3). После преобразования получим напряжение 0...5В. Так как плата работает только с напряжениями, ток необходимо преобразовать в напряжение, для этого используем преобразователь ACS712 (СТ) на 20А. На выходе получим напряжение пропорциональное входному току (порт A0).

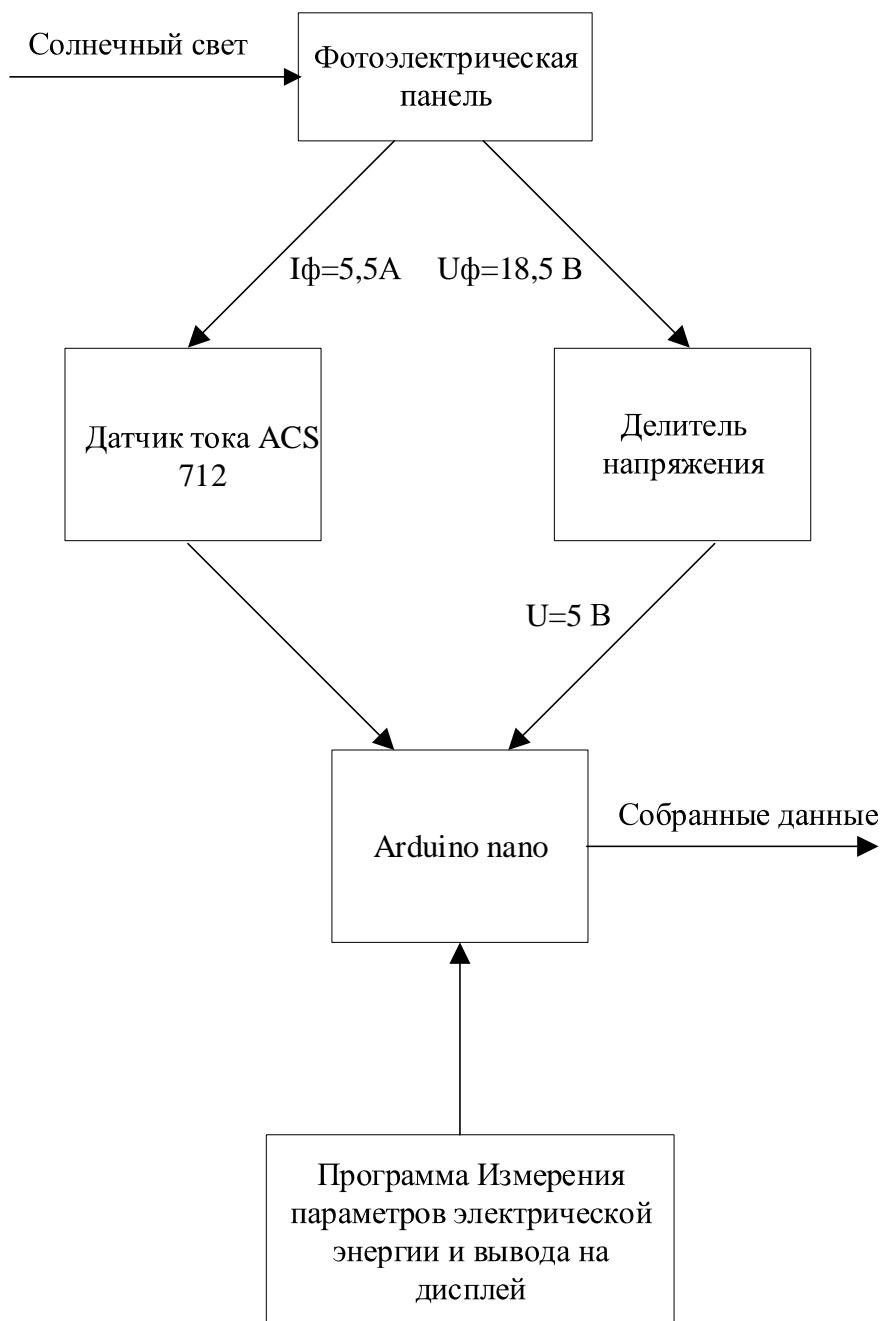


Рисунок 2

Рисунок 2 – Структурно - функциональная схема

2 РАСЧЁТ И ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ СЭС

Так как освещенность меняется в зависимости от погоды, времени суток, напрямую подключать устройства к солнечным батареям не получается. Нужна целая система. Кроме солнечных панелей требуется:

аккумулятор. На протяжении светового дня под воздействием солнечных лучей солнечные батареи вырабатывают электрический ток для дома, дачи. Он не всегда используется в полном объеме, его излишки накапливаются в аккумуляторе. Накопленная энергия расходуется ненастную погоду;

контролер. Не обязательная часть, но желательная (при достаточном количестве средств). Отслеживает уровень заряда аккумулятора, не допуская его чрезмерного разряда или превышения уровня максимального заряда. Оба этих состояния губительны для аккумулятора, так что наличие контролера продлевает срок эксплуатации аккумулятора. Также контролер обеспечивает оптимальный режим работы солнечных панелей;

преобразователь постоянного тока в переменный (инвертор). Не все устройства рассчитаны на постоянный ток. Многие работают от переменного напряжения в 220 вольт. Преобразователь дает возможность получить напряжение 220-230 В.

2.1 Расчёт мощности фотопанели и ёмкости накопителя электроэнергии

Например, в день в среднем необходимо питать нагрузку 20 Вт ($P_n=20\text{Вт}$) в течение 9 часов ($t_n=9\text{ч}$). Солнце ежедневно светит примерно в течение 7 часов ($t_{сб}=7\text{ч}$).

Рассчитаем количество энергии нагрузки W_n :

$$W_n = P_n \cdot t_n = 20 \cdot 9 \cdot 3600 = 648000 \text{ Дж} = 180 \text{ Вт} \cdot \text{ч}; \quad (2.1)$$

где P_n – мощность нагрузки, Вт; t_n время работы нагрузки, ч.

Затем можно получить емкость C , которая необходима для хранения данного количества энергии:

$$C = \frac{2W}{U^2} = \frac{2 \cdot 648000}{12^2} = 9000 \Phi; \quad (2.2)$$

где $W_{л}$ – количество энергии нагрузки, Дж;

U – рабочее напряжение источника питания (солнечной батареи), В.

Таким образом получаем емкость ионисторов 9000 Ф. Но эта емкость будет актуальна при разряде ионисторов мене 1,5 вольт, с таким напряжением никакие преобразователи напряжения работать не могут, значит данное напряжение нельзя будет вывести в сеть для собственных нужд. Необходимо, чтобы напряжение было не менее 5-6 вольт. Поэтому рабочее напряжение U в формуле (2) нужно уменьшить до 6 вольт:

$$C = \frac{2W}{U^2} = \frac{2 \cdot 648000}{6^2} = 3600 \Phi; \quad (2.3)$$

где $W_{л}$ – количество энергии нагрузки, Дж;

U – рабочее напряжение источника питания (солнечной батареи), В.

Данное значение емкости C необходимо поделить на 500 (Ф) для того, чтобы узнать количество ионисторов $N_{и}$:

$$N_{и} = 36000/500 = 72 \text{ шт.}; \quad (2.4)$$

Далее это значение надо еще умножить на 5, чтобы получить рабочее напряжение батареи ионисторов в 13,5 вольт. То есть, получится последовательное соединение пяти суперконденсаторов, к каждому из которых параллельно соединено еще по 71 суперконденсатору.

$$N_u = 72 \cdot 5 = 360 \text{ шт.}; \quad (2.5)$$

Таким образом, нам необходимо иметь в общем 360 ионисторов по 500 Ф с рабочим напряжением 2,7 В. Они будут образовывать батарею из пяти рядов ионисторов.

2.2 Расчет фотоэлектрической установки

Перед разработкой модуля балансировки напряжения необходимо определиться с выбором источника питания. В качестве источника питания будет использоваться солнечная батарея.

Рассчитаем мощность фотоэлектрических элементов. Рассмотрим формулу (6):

$$W_n = P_n \cdot t_n = W_{cb} = P_{cb} \cdot t_{cb}; \quad (2.6)$$

где W_n – количество энергии нагрузки,

Дж; P_n – мощность нагрузки, Вт;

t_n – время работы нагрузки, ч; W_{cb} – количество энергии, вырабатываемой солнечной батареей, Дж; P_{cb} – мощность солнечной батареи, Вт;

t_{cb} – время работы солнечной батареи, ч;

Из данной формулы нужно выразить мощность солнечной батареи:

$$P = \frac{P_n \cdot t_n}{t_{cb}} = \frac{25 \cdot 9}{7} = 25,7 \text{ Вт}; \quad (2.7)$$

где P_n – мощность нагрузки, Вт; t_n – время работы нагрузки, ч;

t_{cb} – время работы солнечной батареи, ч;

Таким образом мы получаем нагрузку, вырабатываемую солнечной батареей, необходимую для зарядки 360 ионисторов емкостью каждый по 500 Ф.

Но полученное напряжение в 25,7 вольт не является стандартным по отношению к солнечным батареям, поэтому необходимо выбрать солнечную панель с запасом по мощности. Стандартным значением мощности для солнечных батарей является 30 Вт.

2.3 Выбор Контроллера заряда солнечной батареи

Любая автономная система электроснабжения, содержащая в своем составе аккумуляторные батареи, должна иметь средства контроля заряда и разряда аккумуляторов.

Схематически подключение к контроллеру необходимых устройств можно выполнить в соответствии с рисунком 3.

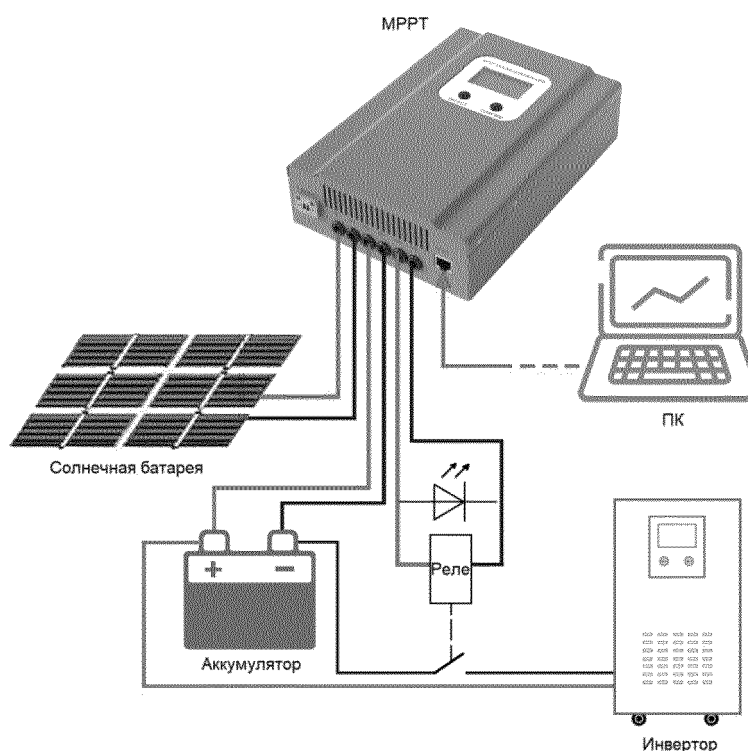


Рисунок 3 – Подключение устройств к контроллеру

Если представить данный контроллер в упрощенном виде, то его работу можно сравнить с работой реостата, так как он (контроллер) тоже регулирует уровень тока на выходе (рисунок 4).

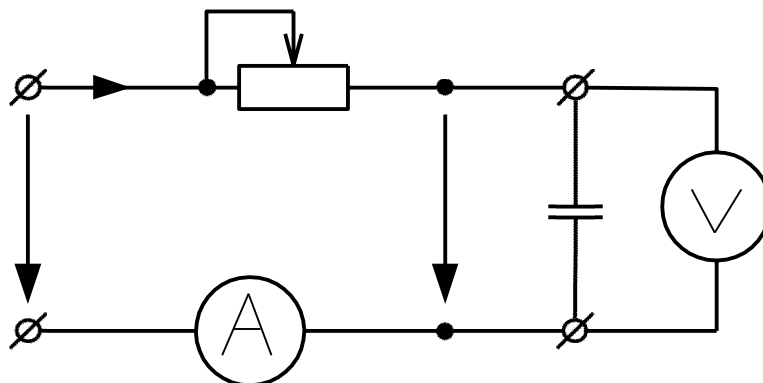


Рисунок 4 – Схема работы солнечного контроллера

Для выбора солнечного контроллера нужно учитывать два основных показателя фотоэлектрической установки – это максимальный ток, который дают солнечные батареи, и рабочее напряжение. В данном случае максимальный ток равен 5,41А при пиковой мощности и 5,75А при коротком замыкании, а рабочее напряжение 18,5В. Из этого следует, что подойдет контроллер с рабочим напряжением 24В и максимальной силой пропускаемого тока в 20А.

В целях экономии денежных средств, будет использоваться уже имеющийся в лаборатории контроллер KW1230 (рисунок 5):

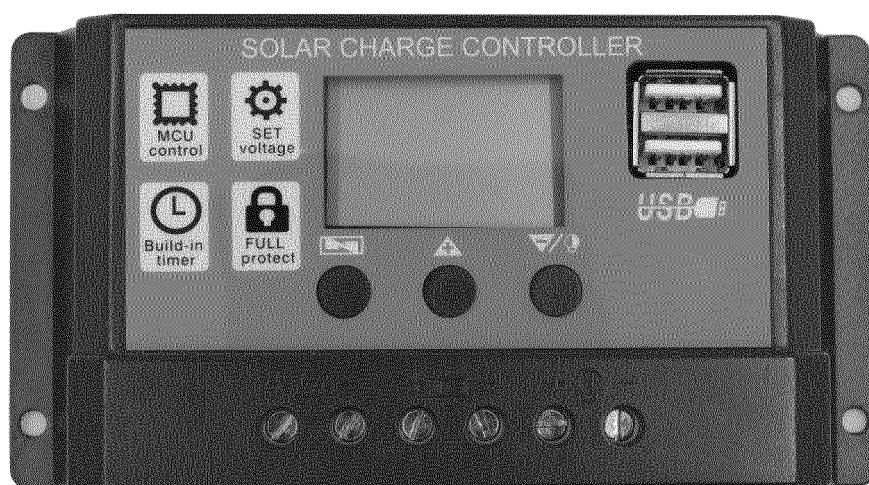


Рисунок 5 –Солнечный контроллер KW1230

Технические характеристики:

- номинальное напряжение: 12 В, 24 В;
- номинальный ток: 30 А;
- максимальное напряжение: 50 В;
- максимальная входная мощность: 390 Ватт (12 В), 780 Ватт (24 В).

Во время тестирования устройства выяснилось, что контроллер не качественный. Поэтому было принято решение заменить солнечный контроллер на другой (рисунок 6).



Рисунок 6 – Солнечный контроллер типа PWM

Технические характеристики:

- номинальное напряжение: 12 В, 24 В;
- номинальный ток: 20 А;
- максимальное напряжение: 50 В;
- максимальная входная мощность: 260 Ватт (12 В), 520 Ватт (24 В).

2.3.1 Функции контроллера

Чип, отслеживающий работу прибора, отвечающий за процесс зарядки АКБ, остается главным его компонентом. Основные функции заключаются в следующем:

- если заряд достигает наибольшего значения, аппарат ограничивает в автоматическом режиме подачу тока, обеспечивая ее необходимым количеством энергии;

- если же аккумулятор разряжен, контроллер в автоматическом режиме ограничивает все входящие нагрузки.

Функции данного агрегата можно разделить на несколько пунктов:

- заряд АКБ;
- автоматическая регулировка процесса включения и отключения батареи в режиме зарядки/разряда аккумулятора;
- автоматическое подключение фотоэлементов для зарядки;

Контроллер играет важную роль, его функции позволяют существенно увеличить сроки службы аккумулятора, генерирующего энергию солнечных панелей.

Если Солнце отсутствует, приспособление находится в «спящем режиме». С появлением первых лучей оно продолжает оставаться в состоянии покоя. Лишь достигнув заряда в 10В, контроллер включается автоматически. Напряжение, достигнув этого показателя, после включения начинает передавать электрический ток к аккумуляторной батарее, пока уровень зарядки не достигнет значения в 14V. Достигнув этой отметки, в схеме работы происходят изменения, что прекращает подачу тока для заряда АКБ. Как только она разряжается,

схема в течение трех секунд переходит в рабочий режим.

2.4 Выбор аккумулятора

Поскольку поступление электроэнергии от панелей к потребителю несогласовано по величине и времени, то необходимо устройство, обеспечивающее бесперебойную работу в отсутствие питания с солнечных панелей. Поэтому в системах автономного солнечного энергоснабжения необходимо обязательное наличие аккумуляторных батарей, выполняющих функции накопления и стабилизации.

Для нашей системы был выбран свинцово – кислотный аккумулятор HR 1234W F2 (рисунок 7):

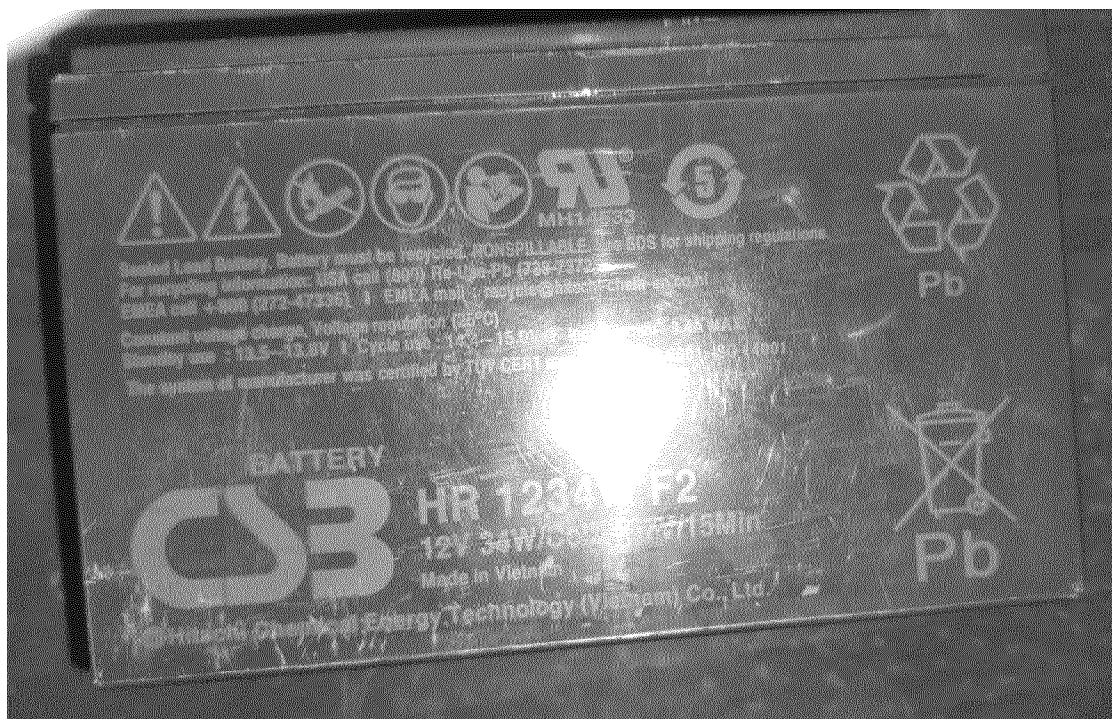


Рисунок 7 – Аккумулятор HR 1234WF2

Технические характеристики аккумулятора:

- ёмкость: 9 Ач;
- вес: 2,5 кг;
- максимальный ток выхода: 100 А;
- максимальный ток входа: 3,4 А;
- напряжение без нагрузки: 13,5 – 13,8 В;
- напряжение под нагрузкой: 14,4 – 15 В.

Таблица 2 – Зависимость выдаваемого напряжения от заряда

Напряжение	Заряд
12,70 В	100 %
12,46 В	80 %
12,24 В	55 %
12,00 В	25 %
11,90 В	0 %

2.5 Выбор Инвертора

Для преобразования постоянного напряжения батареи ионисторов в переменное и использования его в быту, необходимо применить сетевой инвертор. Кроме того, что он преобразует напряжение в переменное, он также его повышает, например, до 220 вольт.

Разработанная батарея ионисторов выдает напряжение чуть больше 12 вольт, поэтому и инвертор необходимо использовать тоже на 12 В. Кроме того, критериями отбора стали мощность (для солнечной установки в 20 Вт, мощность инвертора надо взять наименьшую) и напряжение отключения питания, так как необходимо, чтобы инвертор мог работать с напряжением от 6 до 12 вольт.

Таким образом, был выбран инвертор SKU834902 (рисунок 8)

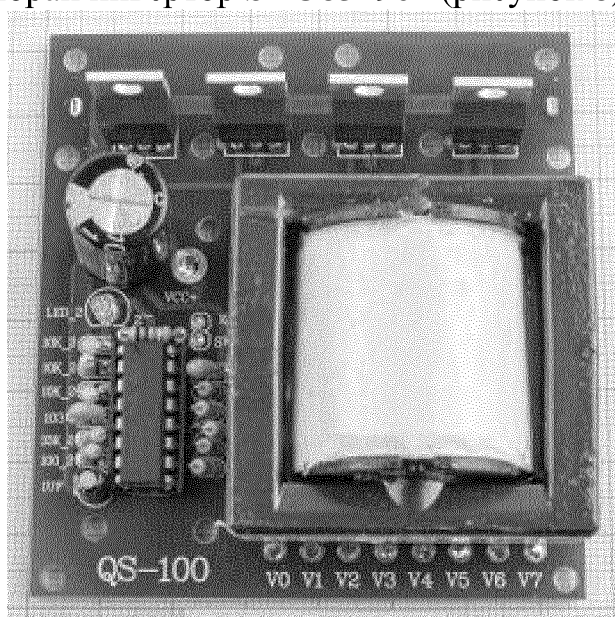


Рисунок 8 – Инвертор SKU834902

Технические характеристики:

- номинальное значение входного напряжения (постоянное): 12 В, 16 В;
- выходное напряжение (переменное): 18 В, 220 В, 380 В;
- статический ток нагрузки: ~0,35 А;
- выходная частота: ~20 кГц;
- номинальная выходная мощность: 500 Вт.
- вход DC12В;
- производительность 0-110-220В;
- статический ток холостого тока 0.1А.

3 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СЭС

3.1 Разработка принципиальной электрической схемы

Кто-то может сказать, а зачем столько конденсаторов, но лучше на них не экономить из-за наличия АЦП. И от стабильности и питания зависит дальнейшая работа устройства. Именно для этого в схеме имеется два дополнительных стабилизатора: один по входу на 8 вольт, это позволяет питать данный прибор напряжением от 8 до 20 вольт. Так же тут установлен еще один стабилизатор специально для ср и датчика тока, это прецизионный стабилизатор mcp1703 на 5 вольт. Такое решение позволяет избавиться от не согласования уровня напряжений между датчиком тока и, АЦП. самого же ардуино тоже есть. Он подаёт питание на микроконтроллер и дисплей. Пару слов про пределы измерений и как их изменить. Начнем с напряжения. На вход АЦП можно подавать максимум 6 вольт, но лучше поднимать выше пяти для надежности. Так как нам нужно измерить напряжение гораздо выше 5 вольт, необходимо применить делитель напряжения на резисторах с таким расчетом, что при максимальном входном напряжении в точки деления было не больше 5 вольт. Для облегчения подбора резисторов сделано два посадочных места последовательно. По поводу тока. Тут все зависит от микросхемы, которая используется. Самая точная из них та, что на 5 ампер, но этого может быть мало. В данной работе использована 5-амперная микросхема, потому что максимальный ток на ФЭУ 5 ампер, но также существует на 20, 30 и более ампер. Теперь про дисплей. Тут можно применять любые дисплеи с разным количеством строк. Язык прошивки использован английский, что упрощает выбор дисплея. В прошивке придется менять строки и ячейки. Пробный вариант данного устройства собран и протестирован на макетной плате и тут можно заметить, что вначале был вариант использовать шунт, но обнаружилась нелинейность. Принципиальная схема устройства показана на рисунке 9.

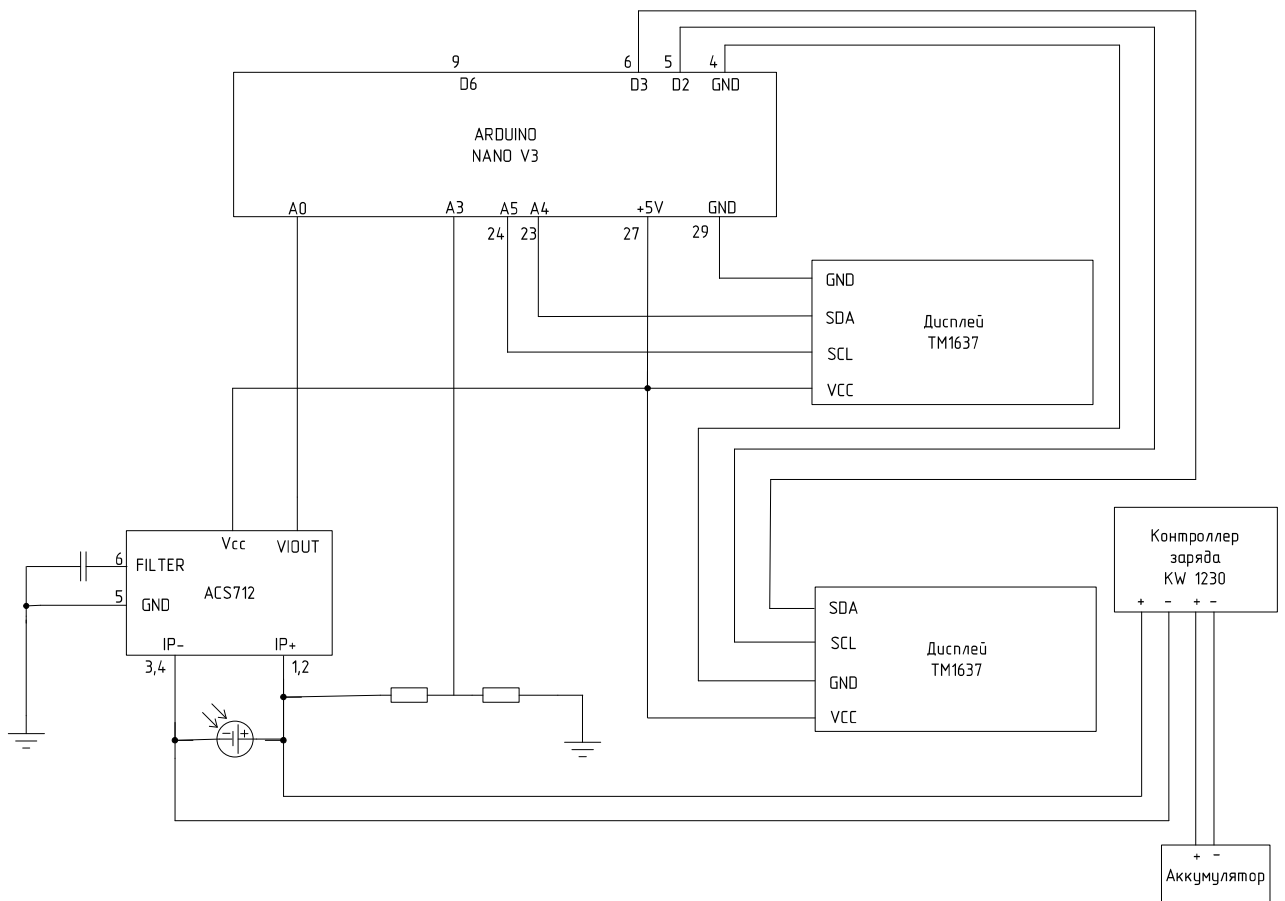


Рисунок 3

Рисунок 9 – Принципиальная схема

3.2 Выбор приборов

3.2.1 Выбор микроконтроллерной платы

Для работы выбрана микроконтроллерная плата Arduino.

Arduino – это электронный конструктор и удобная платформа быстрой разработки электронных устройств для новичков и профессионалов. Платформа пользуется огромной популярностью во всем мире благодаря удобству и простоте языка программирования, а также открытой архитектуре и программному коду. Устройство программируется через USB без использования программаторов.

Arduino позволяет компьютеру выйти за рамки виртуального мира в физический и взаимодействовать с ним. Устройства на базе Arduino могут получать информацию об окружающей среде посредством различных датчиков, а

также могут управлять различными исполнительными устройствами.

Микроконтроллер на плате программируется при помощи языка Arduino (основан на языке Wiring) и среды разработки Arduino (основана на среде Processing). Проекты устройств, основанные на Arduino, могут работать самостоятельно, либо же взаимодействовать с программным обеспечением на компьютере (напр.: Flash, Processing, MaxMSP). Платы могут быть собраны пользователем самостоятельно или куплены в сборе. Программное обеспечение доступно для бесплатного скачивания. Исходные чертежи схем (файлы CAD) являются общедоступными, пользователи могут применять их по своему усмотрению.

На данный момент разработан отладочный вариант вольтамперметра на микроконтроллерной плате Arduino NANO v.3 (рисунок 10).

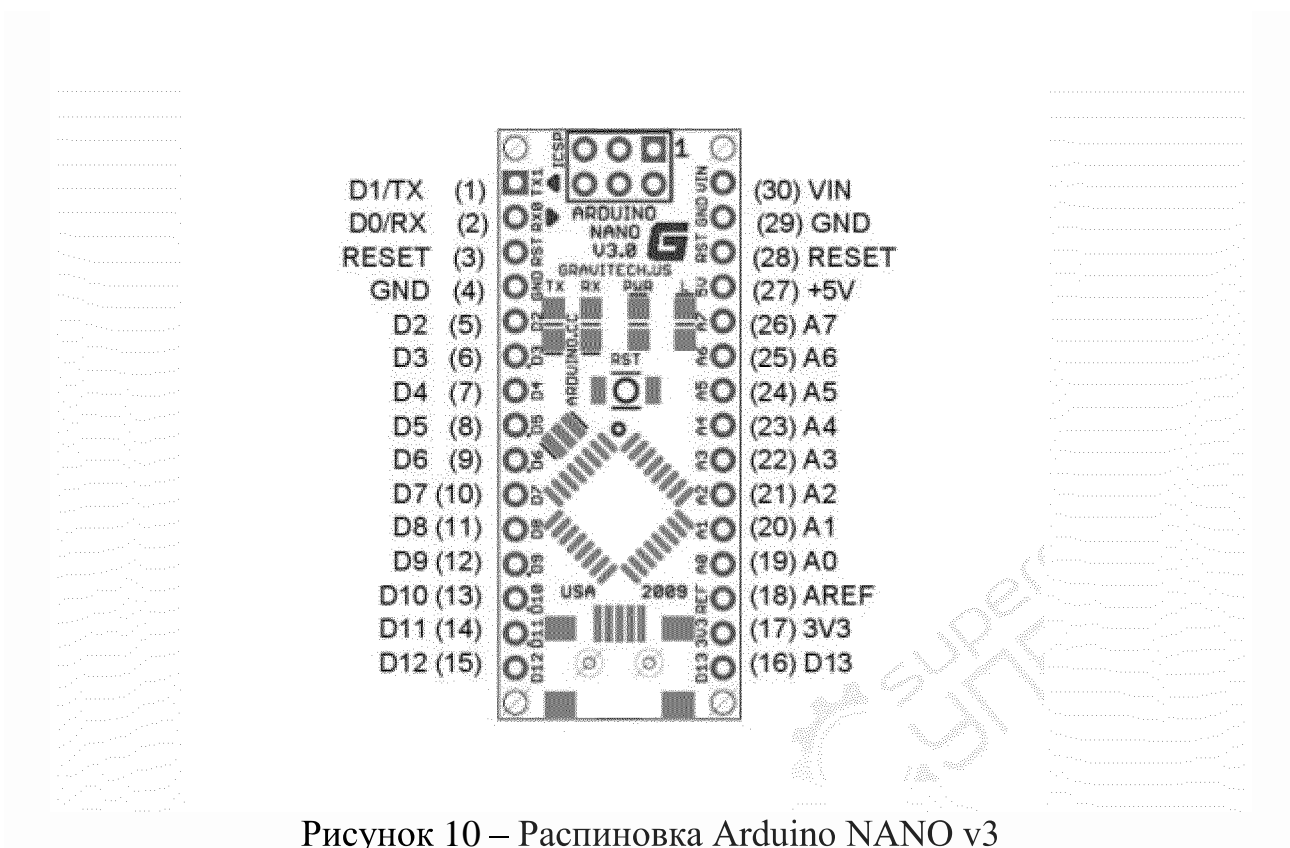


Рисунок 10 – Распиновка Arduino NANO v3

Характеристики:

- микроконтроллер Atmel ATmega168 или ATmega328
- рабочее напряжение (логический уровень) 5В

- напряжение питания (рекомендуемое) 7-12В
- напряжение питания (предельное) 6-20В
- цифровые входы/выходы 14 (из которых 6 могут использоваться как ШИМ-выходы)
- аналоговые входы 8
- максимальный ток одного вывода 40 мА
- flash-память 16 КБ (ATmega168) или 32 КБ (ATmega328) из которых 2 КБ используются загрузчиком
- SRAM 1 КБ (ATmega168) или 2 КБ (ATmega328)
- EEPROM 512 байт (ATmega168) или 1 КБ (ATmega328)
- тактовая частота 16 МГц
- размеры платы 1,85 см x 4,3 см

3.2.2 Выбор датчика тока

Самый простой вариант использовать шунт, но он крайне ненадежен. Шунт имеет свойство плавить от температуры, сам выделять тепло, занимать большие размеры опираясь на перечисленные недостатки, принято другое решение. Для амперметра использован готовый модуль ACS 712 (рисунок 11). Принцип работы данного модуля основан на эффекте холла. Эффект Холла – это возникновение в электрическом проводнике разности потенциалов на краях образца (напряжения Холла) помещённом в поперечное магнитное поле, при протекании тока, перпендикулярному полю. Холловское напряжение пропорциональное магнитному полю и силе тока было обнаружено Эдвином Холлом в 1879 году и эффект получил его имя.

Количественно эффект Холла можно охарактеризовать с помощью коэффициента Холла, который определяется как отношение индуцированного электрического поля к произведению плотности тока и приложенного перпендикулярного магнитного поля. Эта характеристика материала, из которого изготовлен проводник, поскольку его величина зависит от типа, числа и свойств носителей заряда.

В связи с множеством типов эффектов Холла, для ясности исходный эффект иногда называют обычным эффектом Холла, чтобы отличить его от других типов, которые могут иметь дополнительные физические механизмы, но основываются на этих основах.

Данная микросхема отслеживает величину магнитного поля создаваемую протекающим внутри неё тока, преобразует эту величину в напряжение и выдает на свою ножку. Модули выпускаются в трех версиях: на 5 20 30 ампер. Тот который на 5 ампер, считается немного точнее. Тем более, зачем выбирать и покупать новый датчик тока, если в лаборатории уже имеется данный датчик. Но как многие говорят с ним есть некоторые проблемы, а именно, влияние магнитного поля земли, а также внешние помехи. Все это решается такой полезной функции, как обнуление.

Рассмотрим схему подключения. Как и любой амперметр данный модуль подключается в разрыв. Для этого есть на одном из его концов клемма с двумя контактами, в другом конце оставшиеся три контакта - это питание (плюс, минус) и один провод, по которому идет выходной сигнал на аналоговый порт arduino, в данном случае подключен к порту А3.

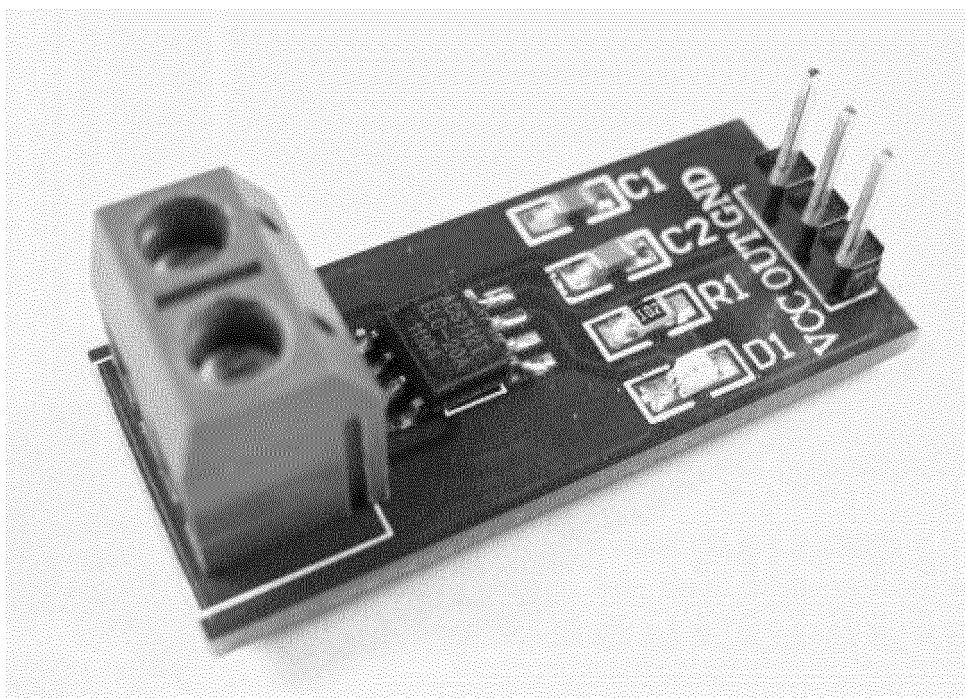


Рисунок 11 – Модуль датчика тока ACS712

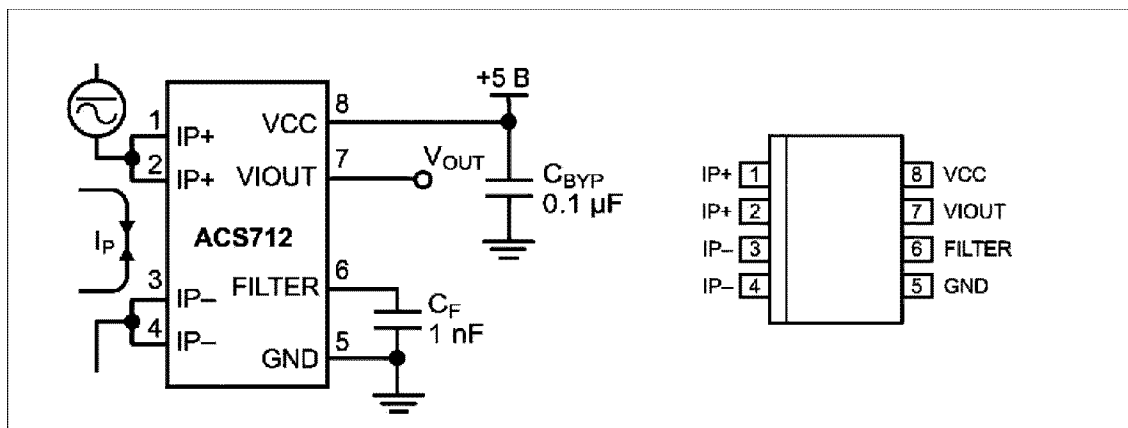


Рисунок 12 – Расположение выводов интегрального датчика ACS712 и типовая схема включения.

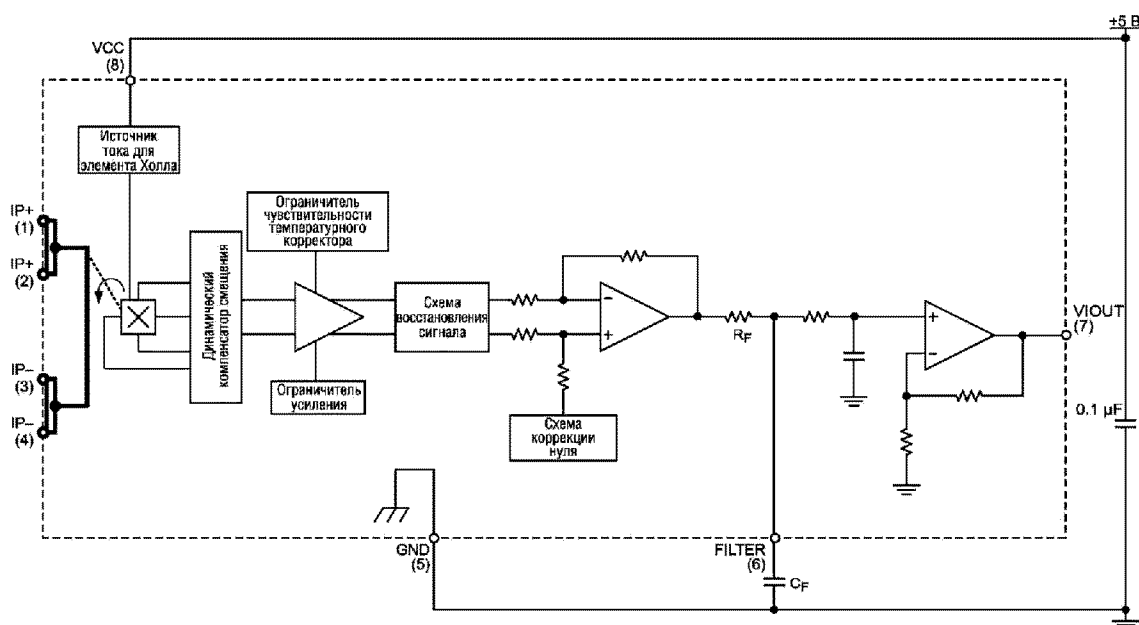


Рисунок 13 – Функциональная схема датчика тока ACS712

Технические характеристики ACS712:

- тип интерфейса: цифровой;
- напряжение: постоянное и переменное;
- напряжение питания: 5 Вольт;
- ток потребления: не более 11 мА;
- измерение силы тока: от 5 до 30 Ампер;
- чувствительность: от 66 мВ/А до 185 мВ/А;
- температура эксплуатации: от -40°C до +85°C;

– размер платы модуля: 31 мм на 13 мм.

3.2.3 Выбор резисторов

Начнем с расчета номиналов резистора для нашего делителя напряжения.

Делитель напряжения рассчитывается по формуле

$$U_{вых} = U_{вх} \cdot \frac{R2}{R1+R2} \quad (3.1)$$

Нам известны: входное напряжение, выходное напряжение. Для использования формулы 3.1 нам нужно знать хотя – бы сопротивление одного из резисторов. Важно учитывать: делитель напряжения рассчитывается с учётом того, что проходящий через него ток минимум в 10 раз больше, чем на выходе и меньше, чем входящий в сеть. Мы можем подобрать значения резисторов перебором. Проще всего для этого воспользоваться одним из онлайн калькуляторов. Важно понимать, что напряжение на нашем делителе не должно превышать пяти вольт, потому что 5 вольт - это максимальное напряжение, которое может замерить аналоговый порт arduino. Эксперименты начались со следующих значений: напряжение нужно измерять до 20 вольт номинал 1 резистора 14,1 кОм номинал 2 резистора 4,7 кОм. Калькулятор рассчитал нам что при данных значениях напряжение будет 5 вольт. Если на вход мы будем подавать напряжение меньше чем 50 вольт, то на делителе тоже напряжение будет меньше.

3.2.4 Выбор дисплея

Для вывода результатов измерений нам понадобится дисплей (рисунок 14).

В данном случае их нужно два. Первый для вывода показаний тока. Второй для вывода показаний напряжения.



Рисунок 14 – Сегментный индикатор с LED контроллером TM1637

3.3 Моделирование схемы в Proteus

Перед тем, как собрать разработанное устройство, необходимо убедиться в его правильности. Проверить корректность разработанной схемы позволяет программа Proteus (рисунок 15).

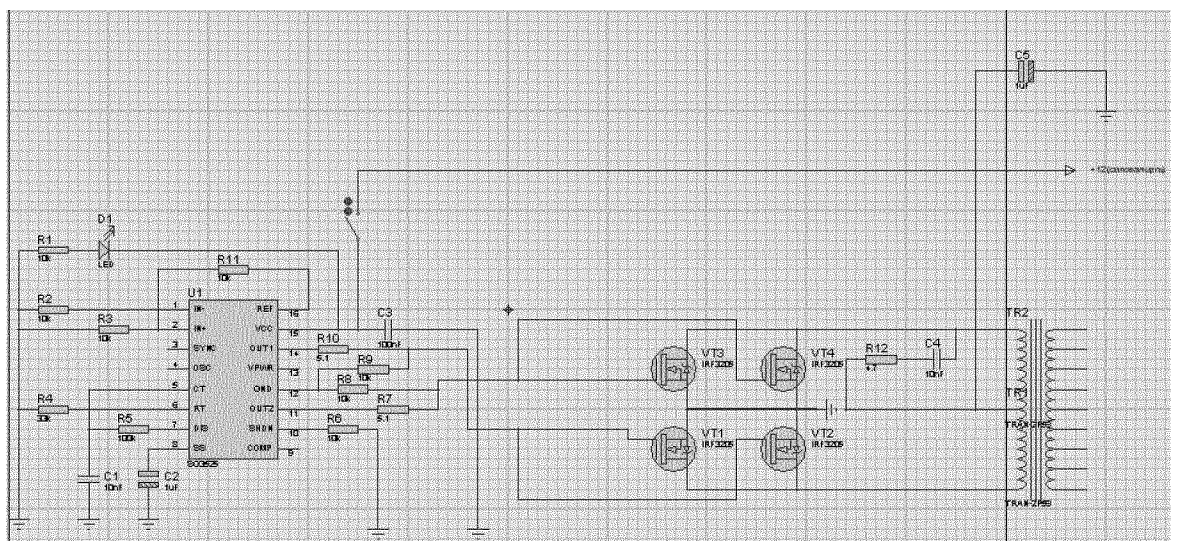


Рисунок 15 – Моделирование разработанной схемы

3.4 Программирование

3.4.1 Разработка исходного текста программы

Для начала подключаем библиотеки по управлению дисплеем. Далее обозначаем аналоговый вход A0. Далее обозначаем типа переменных и заодно сразу указываем номиналы резисторов 14,1 кОм и 4,7 кОм. В разделе вводится `tab`. Обозначаем аналоговый порт как входной далее включаем дисплей. Включаем яркость подсветки. Устанавливаем курсор на нулевые координаты. В цикле `void loop` происходит следующее: снимаем показания с нашего аналогового порта, следующей строчкой определяем вольты: вычисляется следующим образом значения полученная с порта умножаем на 5 (5 это у нас напряжение питания) и делим на 1000 23 (это максимальное значение). Далее на основе полученного значения, мы определяем по формуле, что у нас поступало на вход делителя. Считается он через наши резисторы если у нас будут какие-то шумы или помехи и значения будет отрицательным то мы его просто переводим в 0. Далее полученное значение мы выводим на экран.

Когда все железо подключено, можно переходить к программной части. Весь код написан среде `arduino`, и один из важных моментов тут калибровка показаний напряжения и тока вот в этой строчке указан коэффициент на который необходимо делить показания у каждого он будет свой так как резисторы имеют погрешность поэтому берем мультиметр становимся в точку измерения и подбираем этот коэффициент пока показания на дисплее не совпадут с показаниями на приборе точно такую же операцию необходимо провести для калибровки долговя брал лампу накаливания подключал ее как нагрузку для блока и мультиметром смотрел значение тока в общем все предельно просто так же тут есть костыли с выводом символов на экран все потому что экран записывает в память символы и отображает их пока не появятся новые или не произойдет очистка дисплея есть конечно функция `sprintf` но с ней возникли проблемы. Также в прошивке есть функции сигнала при превышении определенного тока. Если этого не нужно можно просто закомментировать данные строчки

Листинг программы в Приложении А.

Следующий шаг в повышении точности показаний это усреднение значения полученных с порта для этого мы создаем массив из пяти десяти значений при каждом цикле void loop у нас одно из этих значений по очереди будет обновляться также каждый раз цикле void loop вычитаться среднее путем сложения всех значений массива и деление на их количество. Как сделать, чтобы наш прибор показал именно правильное напряжение? Тут то и начинается самое интересное. Казалось бы, все сводится к тому, чтобы в коде правильно прописать номиналы резисторов которые мы используем, но все оказывается не так просто. Даже если мы замерим сопротивление этих резисторов при помощи омметра и их пишем, столкнемся мы примерно со следующей проблемой, что на одних диапазонах измерений у нас напряжение будет соответствовать, а на других нет, причем она может расходиться как в меньшую, так и в большую сторону. Опытным путем выяснилось, что для повышения точности измерений лучше использовать резисторы с номиналами поменьше. Выбор Остановился на 2 кОм и 200 Ом. Единственный момент, нужно при помощи калькулятора проверить соответствует ли напряжение на делителе и допустимом значении. Сначала были попытки в коде менять значение резисторов и многократно перепрошивать arduino но дело это долго и неблагоприятное поэтому я решил пойти другим путем а именно смоделировать расчеты в экселе для моделирования нам потребуется собрать некоторую статистику для этого в коде мы пропишем вывод на экран значение которое приходит наш аналоговый порт от 0 до 1023 мы будем устанавливать контрольные напряжения например 5, 10, 12 так далее вольт и записывать таблицу какие значения нам выдает порт при каждом из напряжения в итоге у нас получается следующая таблица формулы в эти таблицы такие же как и у нас в скетче, то есть, по сути, у нас получается что реальное здесь это только входное напряжение которое мы подавались регулируемого блока питания и значение которое нам выдавал порт при конкретно наших резисторов все остальное здесь мы можем менять правильнее всего будет подобрать номиналы наших резисторов таким образом чтобы в большинстве диапазонов отклонения у нас были минимальные определенный момент мне при-

шлось поменять источник внешнего опорного напряжения на 499 в связано это с тем что в мой мультиметре помимо вольтметров есть амперметр сделай на китайском модули модуль это требует источник опорного напряжения в 5 вольт схему подключения t1431 я немного изменил добавив подстроечный резистор и настроив напряжения 499 вольт и соответственно пришлось заново провести замеры и заполнить таблицу значениями в общем то удалось получить некий компромисс и подобрать некие значения резисторов которые в большинстве диапазонов дают скажем так терпимую погрешность мне хотелось идти дальше и поэтому я поступил следующим образом во-первых я сделал еще больше замеров на еще большем количестве напряжений я решил пойти от обратного то есть написать формулу которая рассчитывает значение резистора $r1$ чтобы получались идеальное значение напряжения которые соответствуют реальным как видно разброс здесь получился довольно таки большой и практически невозможно подобрать одно значение резистора которая бы удовлетворяла всем диапазоном измерений тут я подумал а зачем нам собственно говоря подставлять одно значение резистора на все диапазоны мы же можем смотреть какое значение нам поступают в порт и в зависимости от этого значения подставлять правильный номинал резистора в код, проанализированные данные из таблицы были разделены на диапазоны. Для наглядности они выделены разным цветом, потом в коде прописал все эти условия. Логика здесь следующая: если значение с аналогового порта находится в таком-то диапазоне, то мы подставляем соответствующее значение резистора $R1$. Теперь все зависит от того, насколько точные нужны значения.

3.4.2 Тестирование устройства

Теперь можно производить финальный тест устройства. Для этого подаем питание сначала на управляющую часть, а потом на измерительную. Как видим при включении показания тока не в нуле, поэтому нажимаем на кнопку обнуления и видим что ток стал 0. Для проверки показаний подключено два мультиметра один измеряет ток, второй напряжение. Начинаем изменять уровень напряжения. Как видим, тут всё отлично. Что у нас происходит с током. Возь-

мем электронную нагрузку и будем грузить наш источник. Как видим, показания в принципе совпадают что не может не радовать также можем посмотреть как работает измеритель емкости. Для этого нам понадобится аккумулятор. Подключаемся к его выводам и смотрим за показаниями. Они растут пропорционально залитой емкости и теперь если нужно подключить другой аккумулятор. Достаточно сбросить показания с помощью выключателя. Вот такое полезное устройство у нас получилось. Надеюсь оно многим пригодится. Цена такого устройства гораздо выше покупного, но как говорится для себя любимого ничего не жалко

4 МОНТАЖ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ И ПРОВЕДЕНИЕ ОПЫТОВ

Монтаж системы является неотъемлемой частью практической работы с установкой. В данном разделе приведены этапы сборки и подключения оборудования.

Для начала мы установили солнечную батарею на крышу шестого корпуса (рисунок 18). От солнечной батареи идет провод, который мы подключили к собранной установке, которую мы собрали для проведения опытов. Установка состоит из: вольтметра (рисунок 22), амперметра (рисунок 21), реостата (рисунок 20). Также для измерения освещения мы использовали люксметр (рисунок 23).

Вольтметр аналоговый. В качестве амперметра мы использовали мультиметр (рисунок 21). Реостат здесь используется в качестве нагрузки.

Данная установка нужна для сбора данных о вольтамперной характеристике. Собрав данные мы смогли построить графики в Excel.

После сбора данных мы собрали новую установку, состоящую из: солнечного контроллера, инвертора, автоматического выключателя, вольтметра, амперметра, аккумулятора.

Данная установка оказалась не совсем корректной и на инверторе сгорел транзистор. Чтобы такого не повторилось, нужно к инвертору и аккумулятору подключить автоматический выключатель. Автоматический выключатель подбирается по характеристикам аккумулятора.

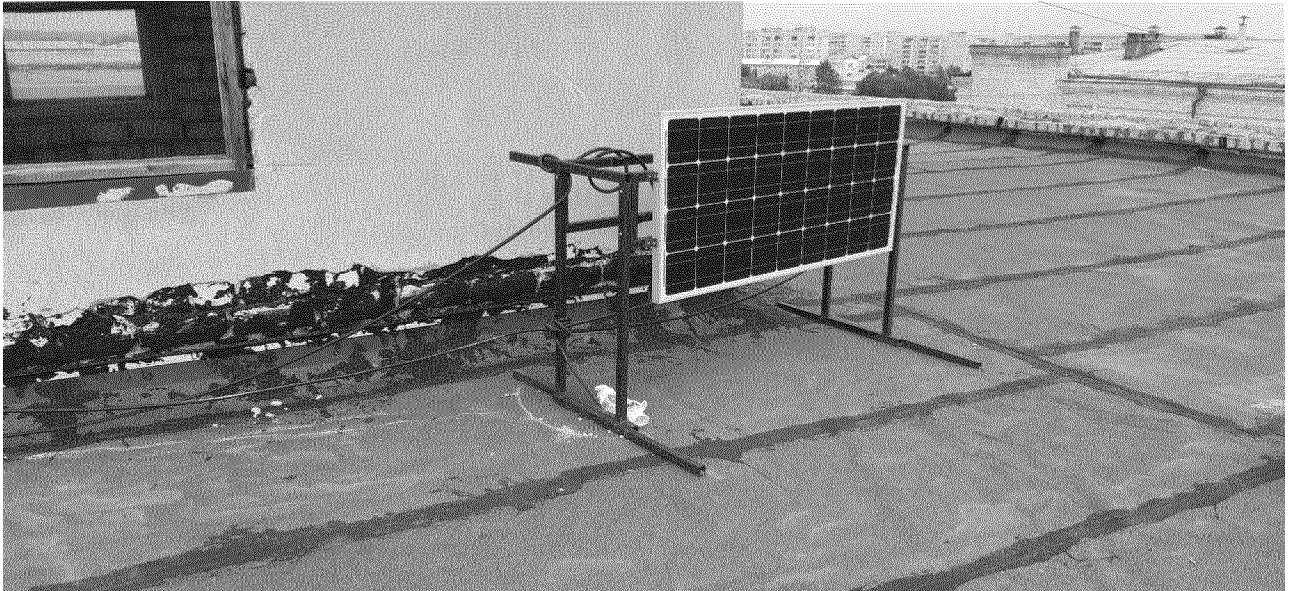


Рисунок 18 – Установка солнечной батареи на крышу

4.1 Монтаж системы для снятия вольт-амперной характеристики

Для снятия и составления характеристики нагрузки фотопанели, а также снятие значений напряжения и тока, была собрана тестовая система с использованием фотопанели, цифрового мультиметра в режиме измерения тока, реостата, аналогового вольтметра и цифрового люксметра.

4.1.1 Сборка и подбор оборудования



Рисунок 19 – Тестовая система, реостат подключён последовательно.

Реостат

Реостат РСПС, используется в качестве нагрузки. Наличие поворотной

ручки, позволяет менять положение пластин на реостате, тем самым изменяя его сопротивление. Из важных характеристик следует выделить:

- ток до 5 А (при последовательном соединении);
- сопротивление 25 Ом \pm 10% (при последовательном соединении);
- ток до 10 А (при параллельном соединении);
- сопротивление 6,2 Ом \pm 10% (при параллельном соединении).

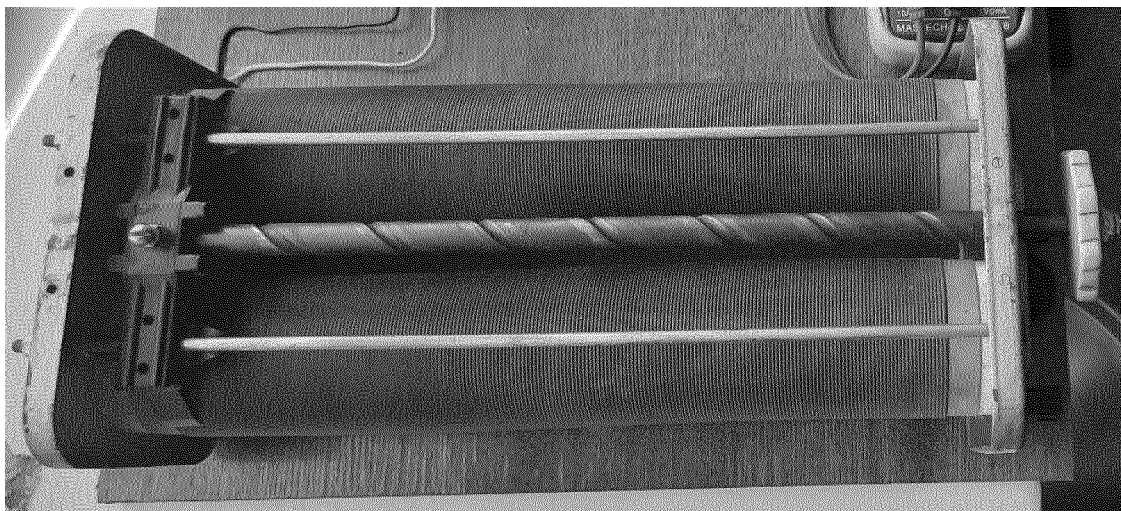


Рисунок 20 – Реостат

Цифровой мультиметр

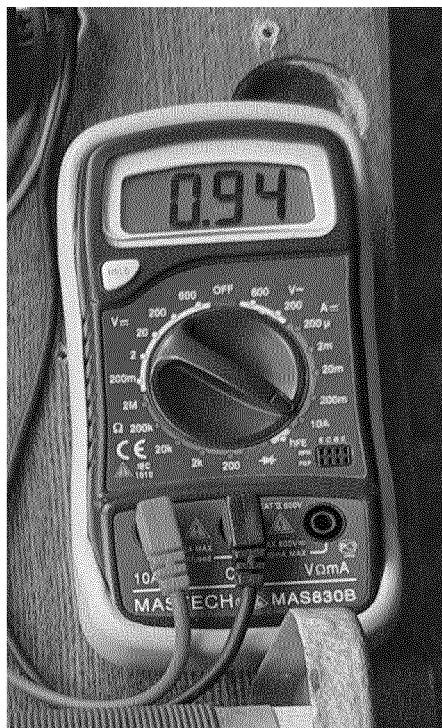


Рисунок 21 – Цифровой мультиметр

В сборке мультиметр используется для измерения постоянного тока, вырабатываемого фотопанелью.

Из важных характеристик следует отметить:

- количество измерений (2-3 в секунду);
- постоянное напряжение (от 0,1мВ до 600В);
- переменное напряжение (от 100мВ до 600В);
- постоянный ток (от 0,1мкА до 10А);
- сопротивление до 2Мом.

Аналоговый вольтметр

Для измерения напряжения, используется аналоговый вольтметр

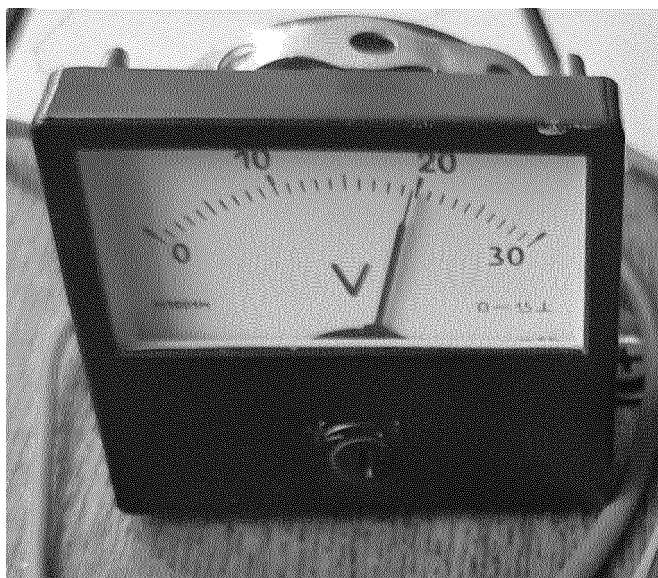


Рисунок 22 – Аналоговый вольтметр

Для измерения напряжения в сборке использовался аналоговый вольтметр на 30В. При выработке фотопанели в диапазоне до 23В, этого вольтметра вполне хватает.

Цифровой люксметр

Освещение на улице не постоянное, на него влияет как облачность, так и время суток (угол падения солнечных лучей). В ходе снятия показаний, замерялась и освещённость с помощью цифрового люксметра (рисунок 23)



Рисунок 23 – Цифровой люксметр

Из характеристик люксметра можно отметить такие характеристики как:

- светочувствительность до 200000 Lux;
- измерений 2 в секунду;
- точность (+-4% при >10000Lux).



Рисунок 24 – Подключённая установка в сборе

4.1.2 Выбор клеммных колодок

Выбор клеммных колодок осуществляем на основе данных, представленных в таблице 10. Максимальный длительный ток, протекающий через колодки в це-

при 220В равен 25,71 А. Выбираем колодки клеммные 12п, 4п и 6п 35А ТС TDM. Максимальный длительный ток через колодки в цепи аккумулятора равен 40,78 А. Выбираем колодки 4п 635А ТС TDM. На рисунке 25 представлено фото всех закупленных клеммных колодок.

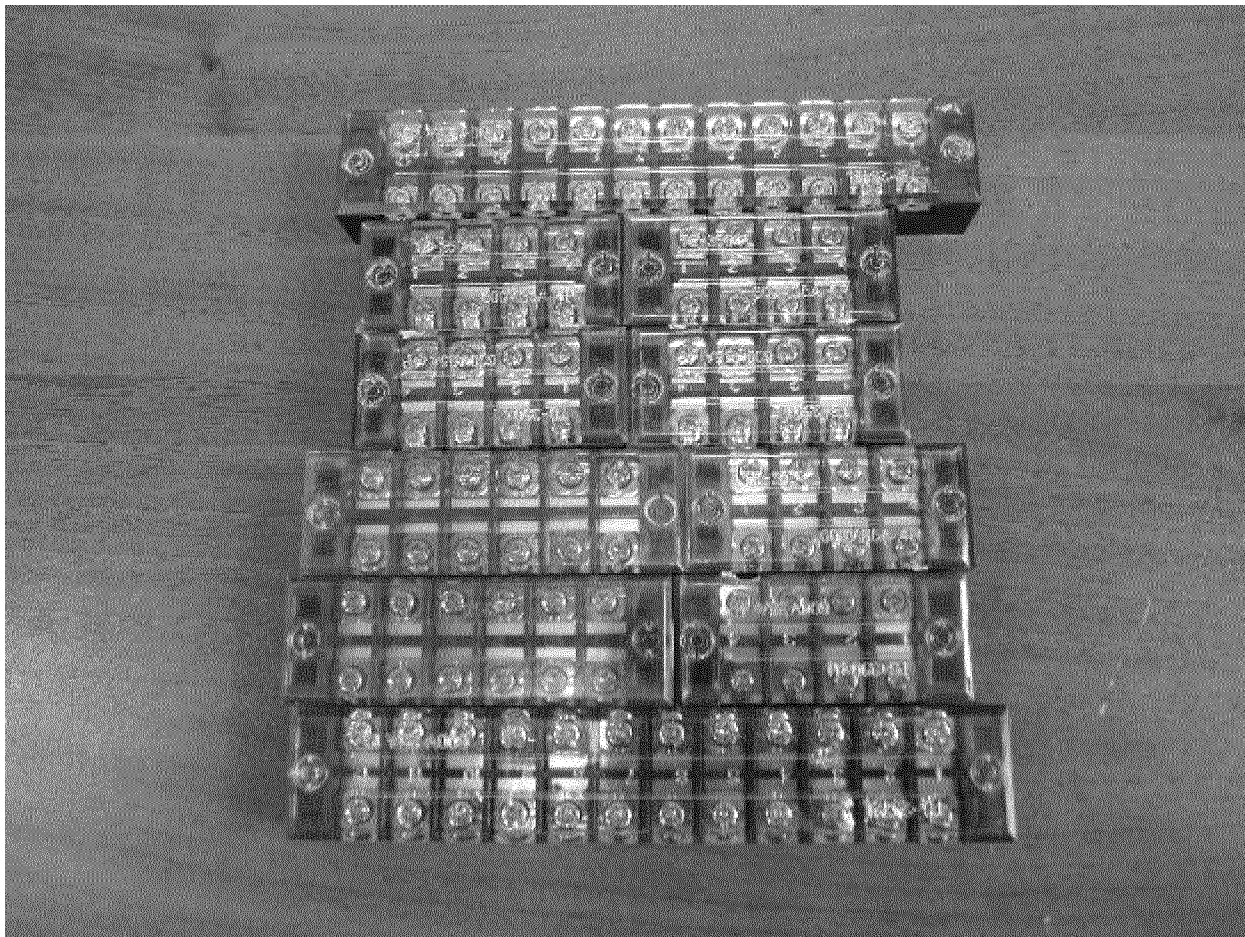


Рисунок 25 – Клеммные колодки

4.1.3 Двухполюсный выключатель

Для удобства и безопасности отключения установки, фотопанель к установке будет подключаться через двухполюсный выключатель (рисунок 26). Данное решение избавит от необходимости по завершению работы с установкой, отключать провода, идущие от фотопанели. Также, для контроля за значениями напряжения и тока, в цепь включены амперметр и вольтметр.

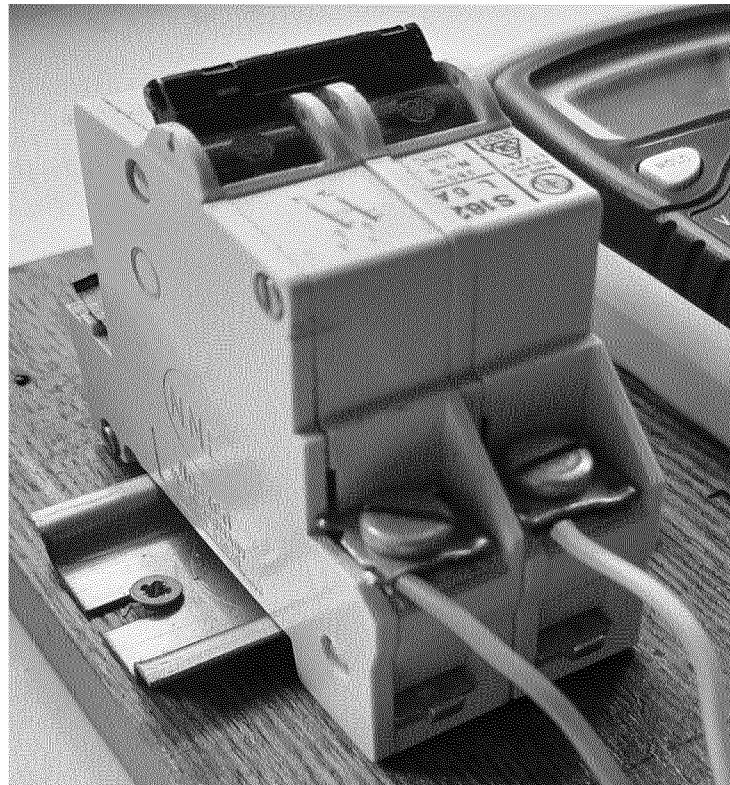


Рисунок 46 – Двухполюсный выключатель

Схема подключения оборудования выглядит следующим образом (рисунок 27).

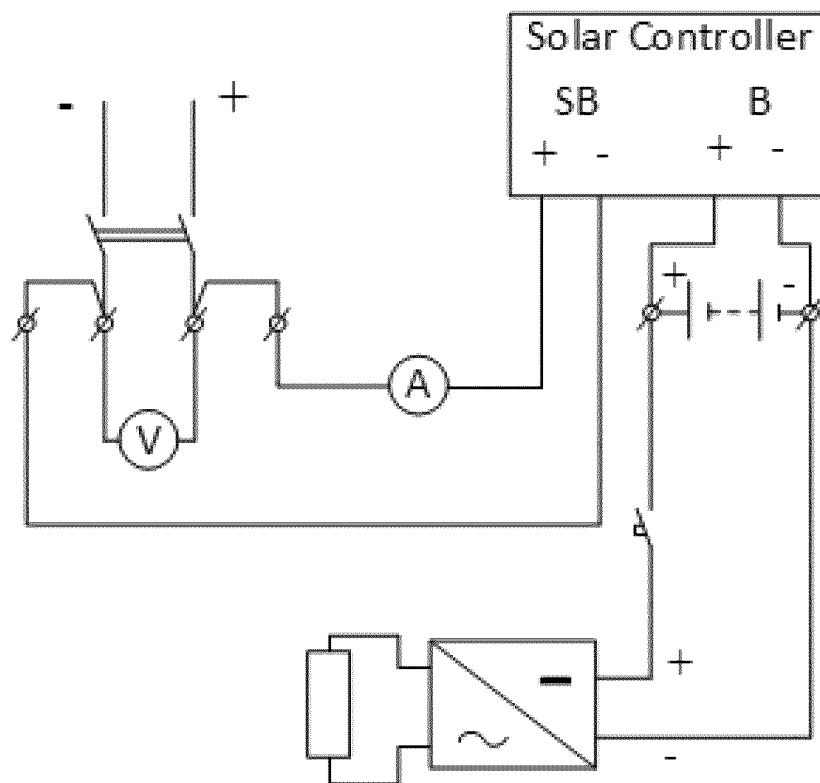


Рисунок 47 – Схема подключения двухполюсного выключателя

4.1.1 Автоматический выключатель

Для защиты от короткого замыкания, на линии от аккумулятора к инвертору, необходимо установить автоматический выключатель. Его необходимо подбирать из расчётов на работу именно в нашей установке. Важные для нас параметры при выборе автоматического выключателя:

- класс (A, B, C, D);
- номинальное напряжение работы (U_n);
- номинальный ток работы (I_n);
- ток расщепления (I_p).

Из этих параметров знаем номинальное напряжение и ток, а именно:

$$U_n = 12 \text{ В};$$

$$I_n = 10 \text{ А}.$$

Ток расщепления можно рассчитать по формуле (формула 4.1):

$$I_p = I_n \cdot 1,3 = 10 \cdot 1,3 = 13 ; \tag{4.1}$$

Из расчёта ток расщепления равен 13 А, округлим до 16, так как это подходящий возможный номинал автоматического выключателя.

Для определения необходимого нам класса автоматического выключателя, следует обратиться к время-токовой характеристике (рисунок 28). Она отображает зависимость времени срабатывания выключателя от кратности тока, относительно разных классов выключателей.

Кратность тока можно рассчитать по формуле (формула 3.1);

$$k = \frac{I_a}{I_p} ; \tag{4.2}$$

где, I_a – ток, прошедший через автоматический выключатель;

I_p – ток расщепления.

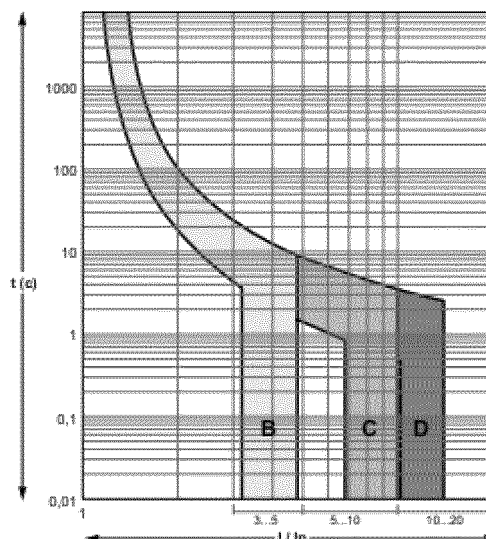


Рисунок 48 – Кривые отключения

Зная кратность можно определить класс автоматического выключателя, исходя из соображений времени его срабатывания. Был выбран класс В, так как при кратности тока равной 3, он мгновенно сработает, разомкнув цепь.

По рассчитанным характеристикам был выбран Автоматический выключатель EASY 9 1П 10А В 4,5кА 230В (рисунок 29).



Рисунок 49 – Автоматический выключатель

4.2 Снятие вольт-амперных характеристик

Номинальные параметры фотопанели при освещённости в 100 кЛ:

- $P=100$ Вт;
- $U_H = 18,5$ В;
- $I_H = 5,41$ А;
- $R_H = 3,42$ Ом;
- $U_X = 22,7$ В;
- $I_X = 0$ А;
- $U_{кз} = 0$ В;
- $I_{кз} = 5,74$ А.

Вольт-амперная характеристика фотопанели при номинальных значениях выглядит следующим образом (рисунок 30)

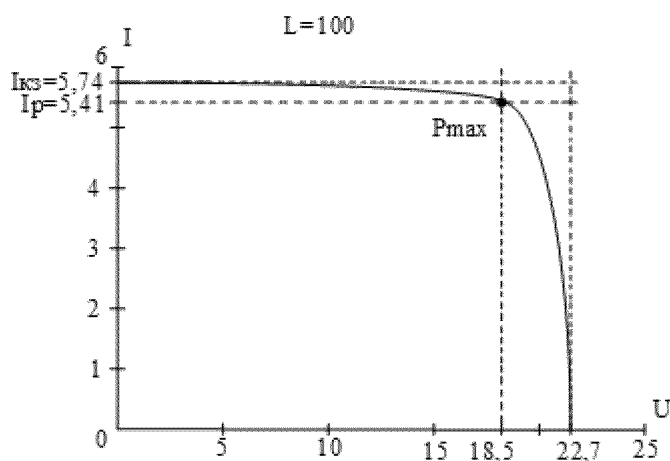


Рисунок 30 – Вольт-амперная характеристика фотопанели

4.2.1 Замеры токов и напряжений

При замерах менялось значение сопротивления (уменьшалось или повышалось), это позволило наглядно понаблюдать за энерговыработкой фотопанели под различной нагрузкой при разном освещении. В ходе эксперимента, как и ожидалось, было выявлено, что фотопанель держит напряжение более стабильно при освещении от 100 кЛ. Замеры проводились с 11 до 15 часов дня, когда угол падения лучей на фотопанель максимально приближен к 90 градусам.

При измерении напряжения и тока было, необходимо было учитывать не

только значения под нагрузкой (рисунок 33), но и ток короткого замыкания (рисунок 31), и напряжение холостого хода (рисунок 32). Последние измерялись, очевидно, без нагрузки. Схемы измерений представлены ниже.

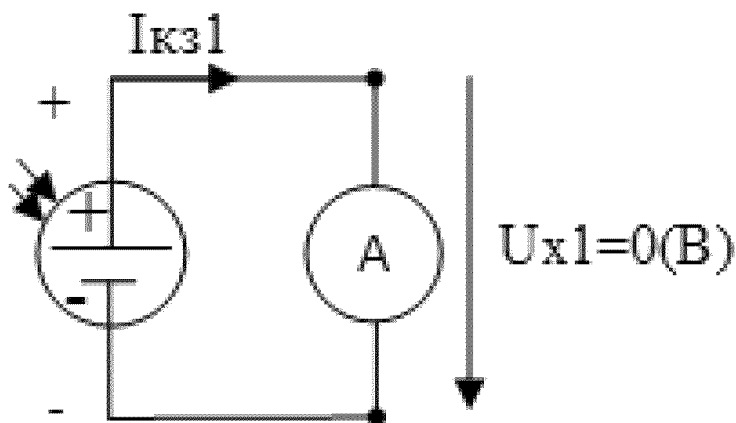


Рисунок 31 – Схема измерения тока короткого замыкания

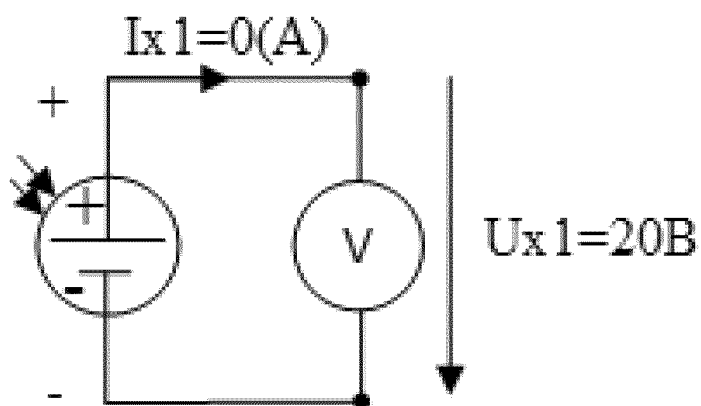


Рисунок 32 – Схема измерения напряжения холостого хода

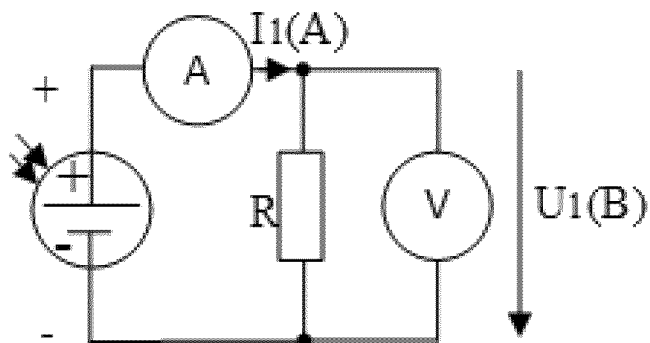


Рисунок 33 – Схема измерения напряжения и тока под нагрузкой

Замерим ток короткого замыкания и напряжение холостого хода, также замерим токи и напряжения под нагрузкой при различной освещённости, это позволит нам построить более точную вольт-амперную характеристику работы фотопанели. Сделаем замеры тока и напряжения под различной нагрузкой (таблица 3) и построим по этим значениям вольт-амперную характеристику (рисунк 34)

Таблица 3 – Напряжения и токи фотопанели при освещённости 129 кЛ

	U, В	I, А	R, Ом	L, кЛ
1	0	2,69	0	128,3
2	4	2,64	1,515152	128,3
3	10	2,63	3,802281	128,3
4	13	2,58	5,03876	128,3
5	15	2,41	6,224066	128,3
6	18,5	1,6	11,5625	128,3
7	19,1	1,37	13,94161	129,1
8	19,5	1,25	15,6	129,1
9	19,9	1,11	17,92793	129,1
10	20	0,94	21,2766	129,1
11	20,1	0,75	26,8	129,1
12	20,4	0	–	128,3

Таблица 4 – Напряжения и токи фотопанели

№	U, В	I, А	R, Ом	L, кЛ
1	2	3	4	5
1	10,5	0,4	26,25	760
2	10	0,4	25	760
3	9	0,4	22,5	760
4	8	0,4	20	760
5	7	0,41	17,07317	760
6	6	0,41	14,63415	760
7	11,5	0,41	28,04878	850
8	10,5	0,43	24,4186	850
9	10	0,43	23,25581	850
10	8,7	0,43	20,23256	850
11	8	0,44	18,18182	850
12	7	0,44	15,90909	850
18	18	0,73	24,65753	34000
19	18	0,74	24,32432	34000
20	17	0,79	21,51899	34000
21	16,5	0,88	18,75	34000
22	15	1,01	14,85149	34000

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5
28	18,5	0,67	27,61194	60000
29	17,8	0,72	24,72222	60000
30	17	0,77	22,07792	60000
31	16	0,84	19,04762	60000
32	14,2	0,92	15,43478	60000
86	15,2	2,27	6,696035	110000
87	13	2,41	5,394191	110000
88	11	2,4	4,583333	110000
94	15,5	2,29	6,768559	113000
95	14	2,44	5,737705	113000
96	12	2,51	4,780876	113000
97	10	2,52	3,968254	113000
98	8	2,53	3,162055	113000
99	15,8	2,37	6,666667	114200
100	13	2,7	4,814815	114200
101	10	2,76	3,623188	114200
102	8	2,76	2,898551	114200
103	5	2,77	1,805054	114200
104	15,6	2,34	6,666667	115800
105	14	2,58	5,426357	115800
106	12	2,7	4,444444	115800
107	10	2,73	3,663004	115800
108	5	2,73	1,831502	115800
109	1,2	2,74	0,437956	115800
70	18,2	1,41	12,9078	116700
71	15	2,5	6	116700
72	13	2,7	4,814815	116700
73	10	2,77	3,610108	116700
74	7	2,77	2,527076	116700
75	5	2,77	1,805054	116700
62	18,5	1,37	13,50365	118200
63	18	1,59	11,32075	118200
64	17	1,94	8,762887	118200
65	16	2,19	7,305936	118200
66	15	2,33	6,437768	118200
67	6	2,5	2,4	118200
68	2	2,51	0,796813	118200
69	11	2,25	4,888889	118200
54	18,5	1,35	13,7037	120900
55	18	1,6	11,25	120900
56	17	1,94	8,762887	120900
57	16	2,18	7,33945	120900
58	14	2,39	5,857741	120900
59	10	2,49	4,016064	120900

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5
60	5	2,5	2	120900
61	1	2,51	0,398406	120900
89	18,5	1,41	13,12057	124000
90	14	2,37	5,907173	124000
91	11	2,46	4,471545	124000
92	9	2,5	3,6	124000
93	7	2,5	2,8	124000
76	18,5	1,39	13,30935	128300
77	15	2,41	6,224066	128300
78	13	2,58	5,03876	128300
79	10	2,63	3,802281	128300
80	4	2,64	1,515152	128300
99	20,4	0	#ДЕЛ/0!	128300
38	20,1	0,75	26,8	129100
39	20	0,94	21,2766	129100
40	19,9	1,11	17,92793	129100
41	19,5	1,2	16,25	129100
42	19,1	1,37	13,94161	129100
49	20	0,75	26,66667	130800
50	20	0,87	22,98851	130800
51	19,9	0,97	20,51546	130800
52	19,5	1,16	16,81034	130800
53	19	1,34	14,1791	130800
43	21	0,76	27,63158	134600
44	20	0,87	22,98851	134600
45	20	1	20	134600
46	19,9	1,14	17,45614	134600
47	19,8	1,33	14,88722	134600
48	19	1,35	14,07407	134600
33	20	0,74	27,02703	135000
34	20	0,81	24,69136	135000
35	19,8	0,9	22	135000
36	19	1,04	18,26923	135000
37	18,8	1,22	15,40984	135000
81	18,5	1,4	13,21429	135300
82	15	2,43	6,17284	135300
83	13	2,57	5,058366	135300
84	10	2,63	3,802281	135300
85	1	2,63	0,380228	135300
23	20,5	0,76	26,97368	146000
24	20,3	0,85	23,88235	146000
25	20,1	0,97	20,72165	146000
26	20	1,1	18,18182	146000
27	19,8	1,29	15,34884	146000

1	2	3	4	5
13	20,5	0,76	26,97368	167000
14	20,5	0,82	25	167000
15	20,2	0,89	22,69663	167000
16	20	0,99	20,20202	167000
17	19,8	1,23	16,09756	167000

Также сделаем замерим значения напряжения холостого хода и тока короткого замыкания:

- $U_{кз1} = 0 \text{ В}$;
- $I_{кз1} = 0,7 \text{ А}$;
- $U_{х1} = 20 \text{ В}$;
- $I_{х1} = 0 \text{ А}$.

Построив характеристику при высокой освещённости (рисунок 34), можно заметить, что вырабатываемая мощность фотопанели держится достаточно стабильно. На характеристике не наблюдается резких скачков или просадок в вырабатываемой мощности.

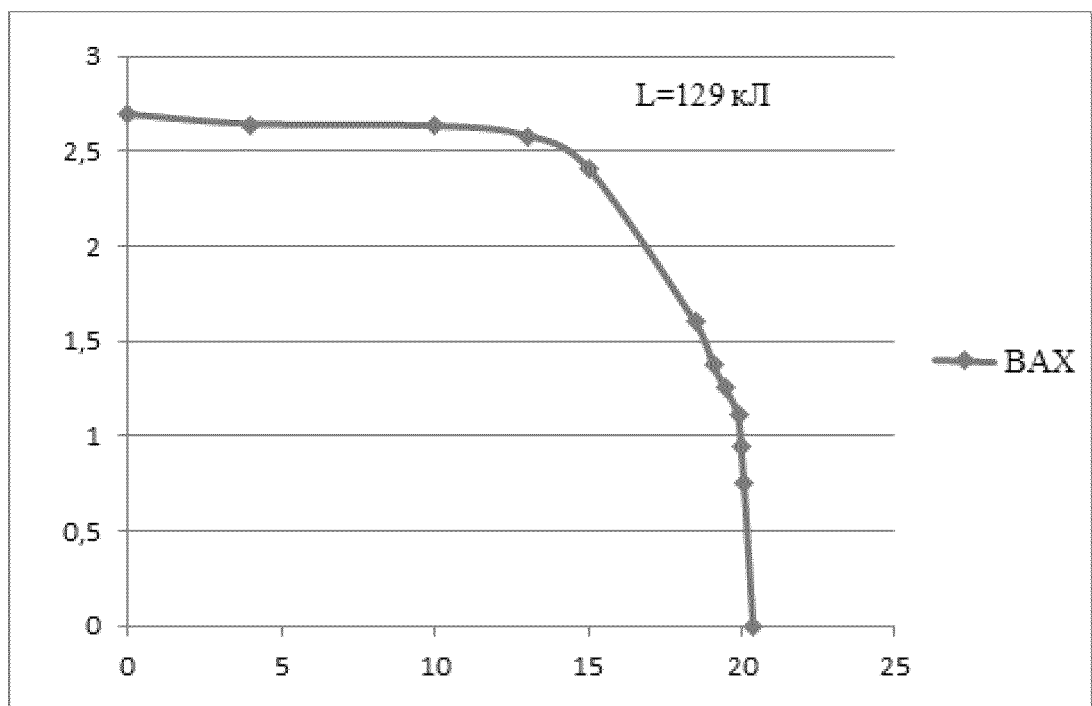


Рисунок 34 – Вольт-амперная характеристика при освещённости 129 кЛ
Работа фотопанели, а именно её энерговыработка, напрямую зависит от

освещённости. При хорошей освещённости работу фотопанели мы рассмотрели, теперь, следует проверить её работу при освещённости ниже. Для этого, сделаем замеры напряжений и тока при освещённости 110 кЛ (таблица 5) и построим по полученным значениям вольт-амперную характеристику (рисунок 35). Сравнив с характеристикой, полученной ранее при освещённости в 129 кЛ, можно будет сделать выводы о стабильности работы фотопанели при различной освещённости.

Таблица 5 – Вольт-амперная характеристика при освещённости 110 кЛ

	U, В	I, А	R, Ом	L, кЛ
1	0	2,59	0	110
2	7	2,58	2,713178	115,8
3	8	2,53	3,162055	113
4	10	2,52	3,968254	113
5	11	2,4	4,583333	110
6	12	2,51	4,780876	113
7	13	2,41	5,394191	110
8	14	2,44	5,737705	113
9	15	2,5	6	116,7
10	15,8	2,37	6,666667	114,2
11	18,2	1,41	12,9078	116,7
12	20	0	–	110

Построив характеристику для низкой освещённости(рисунок 35), можно заметить изменение в выработке энергии. На графике видны просадки и более резкие скачки.

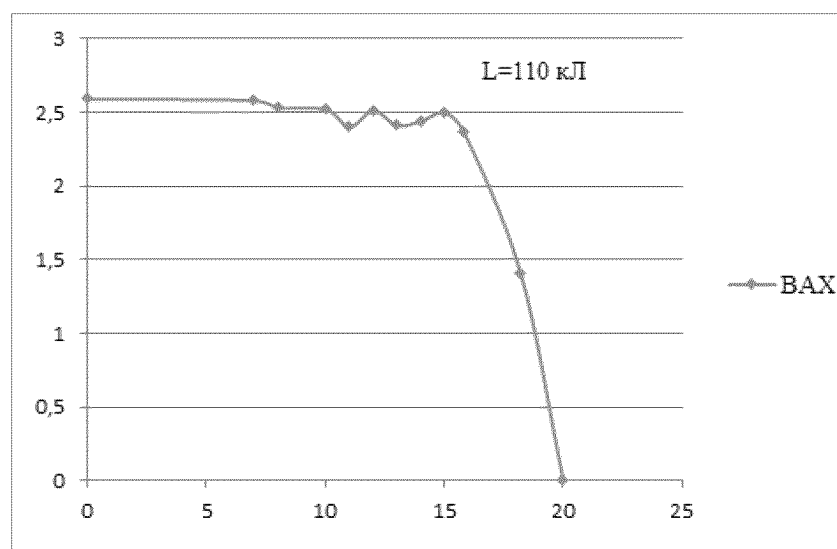


Рисунок 35 – Вольт-амперная характеристика при освещённости 110 кЛ

5 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

5.1 Основные опасные и вредные факторы на рабочем месте инженера (разработчика контроллеров).

5.1.1 Пожар

Согласно нормам пожарной безопасности, в лаборатории, где установлен шкаф с оборудованием фотоэлектрической установки, находится рабочий порошковый огнетушитель для борьбы со случаями возгорания электрооборудования. Также, в лаборатории имеются датчики дыма и пожарная сигнализация. Имеется щит с общим рубильником, отключающий все электрооборудование в лаборатории.

В случае пожарной эвакуации двери лаборатории не блокируются, в открытом состоянии дверной проем имеет ширину около 1,5 м, то достаточно для полного покидания рабочего персонала.

В случае пожара на данной установке требуется:

- 1) Обесточить токоведущие участки установки путем отключения автоматических выключателей, расположенных на линиях электропроводки, соединяющей все основные узлы данной системы;
- 2) Использовать порошковый огнетушитель, который расположен в помещении рядом с узлами фотоэлектрической системы.

5.1.2 Поломка контроллера

В случае неисправности контроллера, необходимо отключить питание всех узлов системы, определить причину поломки контроллера. В случае нарушения программной части, необходимо исправить ошибки путем перепрограммирования.

5.1.3 При обнаружении других неисправностей

При обнаружении неизвестной неисправности следует отключить питание на всех участках установки и попытаться выявить причину поломки на каждом из участков. В случае нехватки навыков ремонта неисправностей на данной установке обратиться к специалисту.

5.2 Техника безопасности при эксплуатации фотоэлектрической установки

При эксплуатации данной установки требуется:

- 1) Следить за показателями зарядного напряжения на участке накопления электроэнергии (батареи ионисторов);
- 2) Следить за состоянием линий электропроводки между основными узлами (участками) системы;
- 3) Следить за целостностью корпуса фотоэлектрической батареи;
- 4) Проводить регулярную чистку корпуса фотоэлектрической батареи;
- 5) Все основные узлы системы, кроме фотоэлектрической батареи, содержать в сухом вентилируемом помещении, во избежание коррозий или попадания нежелательных предметов в цепь электропитания;
- 6) Корпуса главных узлов системы (корпус батареи ионисторов, щит управления, корпус солнечных батарей) должны быть глухозаземлены;
- 7) При работе с проводами или элементами установки, находящимися под напряжением, использовать диэлектрические перчатки.
- 8) На всех линиях электропроводки, соединяющей узлы системы, должны быть расположены автоматические выключатели, срабатывающие в случае короткого замыкания. Кроме того, они используются для ручного отключения нужных участков фотоэлектрической системы.

5.2.1 Расчет автоматического выключателя для фотоэлектрической установки

Для предотвращения последствий короткого замыкания, а также воспламенения проводки, необходимо выбрать автоматический выключатель (АВ). Величину тока, при которой должен срабатывать автоматический выключатель, можно определить по формуле (10).

$$I = \frac{P}{U}; \quad (10)$$

Где P – суммарная мощность всех электроприборов, Вт;

U – напряжение сети, В

В данном случае автоматический выключатель будет установлен на ли-

нии сети 220 вольт, то есть на выходе инвертора. На рисунке 36 автоматический выключатель обозначен как АВ.

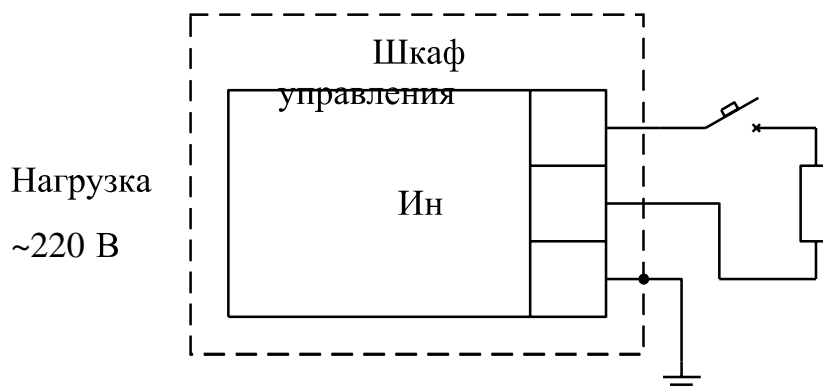


Рисунок 36 – Подключение автоматического выключателя

Нагрузка, на которую рассчитана фотоэлектрическая система, составляет 20 Вт ± 5 Вт. Можно произвести расчеты, подставив значения в формулу 10:

$$I = \frac{25}{220} = 0,113 \text{ А}; \quad (11)$$

Таким образом, получаем максимальную величину тока, проходящего по проводам при максимальной нагрузке. Полученное значение 0,113 А нужно округлить до 0,2 А, так это ближайшее к рассчитанному значению, по которому будет выбран автоматический выключатель.

Что касается проводки, то провода имеют сечение 1 мм², при таком сечении допустимый длительный ток, проходящий через них, составляет 16 А (для двух медных одножильных проводов, лежащих в одном кабель-

канале). Поэтому выбор АВ будет определен только по значению максимально допустимого тока.

Таким образом, был выбран 1-полюсный автоматический выключатель бренда АВВ, серии S200P, номиналом 0,2 А (рисунок 37). Класс срабатывания –К, данный класс предполагает выключение АВ при превышении номинально-

го тока нагрузки в 12 раз. Так как проводка выдерживает токи до 16 А, такой класс срабатывания вполне допустим.

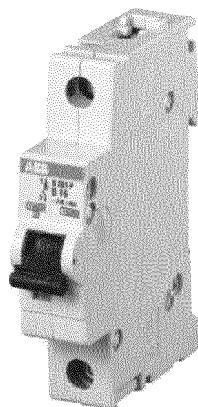


Рисунок 37 – Автоматический выключатель АВВ

5.2.2 Заземление

Защитное заземление – это преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.

Все элементы фотоэлектрической установки, кроме солнечных панелей, будут располагаться в металлическом шкафу управления, имеющем размеры:

- высота: 2 м;
- ширина: 1 м;
- глубина: 0,3 м.

К заземлению будут подключены все элементы, находящиеся в шкафу управления, а именно инвертор, батарея ионисторов и контроллер. Схема защитного заземления приведена на рисунке 38.

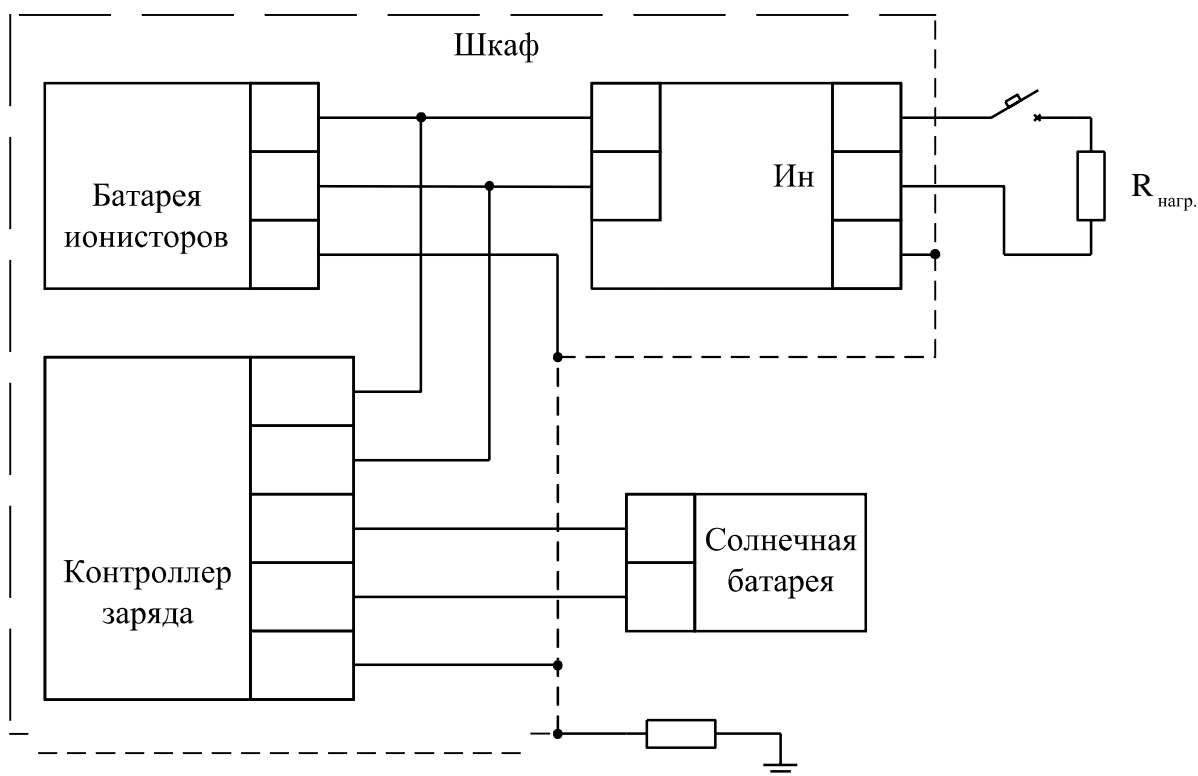


Рисунок 38 – Схема подключения оборудования к заземлению

Согласно структурной схеме (рисунок 38), корпуса всего оборудования будут соединены со шкафом управления. Сам же шкаф подсоединяется к общей шине заземления в лаборатории, которая, в свою очередь, глухозаземлена.

5.3 Экологичность

Ионисторы преимущественно состоят из таких элементов как алюминий, углерод (обкладки), бумага и органический электролит. Все эти вещества при использовании или утилизации не наносят вреда окружающей среде, в отличие от тех же свинцовых аккумуляторов, которые используют едкий электролит и токсичный свинец [14].

Солнечная панель генерирует электричество благодаря неисчерпаемому источнику энергии – солнцу. В ней нет элементов, которые могли бы выделять опасные химические вещества или наносить вред окружающим людям и животным механическим способом (нет лопастей, например), кроме того, получаемое сразу после солнечной батареи напряжение является постоянным, в преде-

лах 10 – 18 вольт, что является относительно безопасным напряжением, и в случае прикосновения к проводам, случайно оказавшимся без изоляции, последствия не несут травмоопасный характер.

Данная система накопления электрической энергии с помощью фотоэлектрической установки не производит никаких шумов, а также видимого светового излучения. Кроме того, она не имеет полей с высоким уровнем напряженности. Систему можно размещать вблизи частных домов или построек, она абсолютно безопасно при соблюдении правил эксплуатации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе проведено сравнение различного оборудования, по итогу которого выбрано наиболее подходящее, отвечающее требованиям. Также приведены необходимые расчёты и схемы по монтажу самой системы. Система спроектирована и проверена в действии.

Проведён анализ работы фотопанели и составлены вольт-амперные характеристики, по которым видно, как работает фотопанель при высокой и низкой освещённости. Предусмотрено и подобрано оборудование защиты в виде автоматических выключателей, которые защитят систему от коротких замыканий. Также были изучены способы заземления установки, защиты фотопанели от ударов молнии, и меры защиты персонала от поражения током.

Помимо этого, была спроектирована система сбора данных об энерговыработке фотопанели. Система также в автоматическом режиме собирает и структурирует данные. Для этого в среде Arduino разработана программа для сбора и обработки данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Минин А.А., Матрунчик А.С. Перспективы использования фотоэлектрических преобразователей в мире и в России // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2016. – Т. 7, № 1. – С. 74–81. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.1.10
2. Kuvalda.ru: он-лайн магазин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kuvalda.ru/blog/articles/polz/kak-ustroen-litij-ionnyy-akkumulyator.html>. – 11.02.2021.
3. Tze.ru: он-лайн магазин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tze1.ru/articles/detail/svintsovo-kislotnye-akkumulyatory/>. – 12.01.2021.
4. Ecotechnica.com: онлайн справочник [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ecotechnica.com.ua/energy/solntse/5236-sozdany-skladyvayushchiesyapopolam-solnechnye-batarei.html>. – 14.01.2021.
5. A-contract.ru: онлайн магазин [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://a-contract.ru/produkcija/pechatnye-platy/vidy-pechatnykh-plat/slozhnye-pechatnye-platy/gibkie-pechatnye-platy/>. – 14.01.2021.
6. Solarsystems.msk.ru: онлайн справочник [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://solarsystems.msk.ru/areas/projects/119/>. – 15.01.2021.
7. Solarsystems.msk.ru: онлайн справочник [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://solarsystems.msk.ru/areas/projects/117/>. – 15.01.2021.
8. Eprussia.ru: онлайн справочник [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.eprussia.ru/epr/206/14345.htm>. – 25.02.2021.
9. Krymology.info: онлайн справочник [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://krymology.info/index.php/Перово_\(электростанция\)](http://krymology.info/index.php/Перово_(электростанция)). – 16.02.2021.
10. VK.com: соц-сеть [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vk.com/@crimeatraveller-krymskaya-solnechnaya-elektrostantsiya-perovo-4-taya-po-mosch>. – 12.04.2021.
11. Krymology.info: онлайн справочник [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

- [http://krymology.info/index.php/Охотниково_\(электростанция\)](http://krymology.info/index.php/Охотниково_(электростанция)). – 23.03.2021.
12. Krymology.info: онлайн справочник [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://krymology.info/index.php/Охотниково_\(электростанция\)](http://krymology.info/index.php/Охотниково_(электростанция)). – 26.02.2021.
13. Newchemistry.ru: онлайн справочник [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://newchemistry.ru/letter.php?n_id=8236. – 14.04.2021.
14. Ozlib.com: онлайн справочник [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ozlib.com/830023/tehnika/struktura_sostav_oborudovaniya_fotoelektrostantsiy.
15. Nkj.ru: онлайн справочник [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nkj.ru/archive/articles/723/>. – 27.06.2021.
16. Energotrade.su: онлайн справочник [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://energotrade.su/accumulatory/plumbum-acb.htm> – 28.06.2021.
17. ГОСТ 3.1130-93. Издания. Основные требования к формам и бланкам документов. – Взамен ГОСТ 3.1104-81; введ. 1996–01–01. – Москва : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации ; М. : Изд-во стандартов, 1996. – 3 с.
18. oboiman.ru: Солнечные элементы. виды и работа. применение и особенности [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://oboiman.ru/ingeneer/gibkie-solnecnye-batarei-vidy-i-svoystva-solnecnyh-panelej.html>. – 02.03.2021.
19. Energotrade.su: онлайн справочник [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://energotrade.su/accumulatory/plumbum-acb.htm>. – 15.04.2021
20. Mastech.ru: он-лайн магазин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mastech.ru/catalog/mult/mas830b.html>. – 14.04.2021.
21. Ozlib.com: онлайн справочник [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ozlib.com/830023/tehnika/struktura_sostav_oborudovaniya_fotoelektrostantsiy. – 10.03.2021.
22. alldatasheet.com [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Datasheet%20acs712&gclid=EA1aIQobChMIn_GXhM608QIVDZayCh08mwh6EAAAYASAAEgKcofD_BwE. – 1.10.2020.