


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

Факультет энергетический
Кафедра автоматизации технологических процессов и производств
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

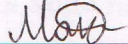
 О.В. Скрипко
« 26 » июня 2019 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Автоматизированная система управления зарядом ионисторной
батареи от фотоэлектрической установки

Исполнитель

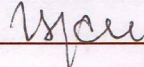
студент группы 541 об

 19.06.2019
(подпись, дата)

Н.А. Макаров

Руководитель

доцент, канд. техн. наук

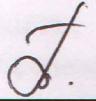
 25.06.19
(подпись, дата)

В.И. Усенко

Консультант:

по безопасности и
экологичности

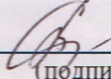
доцент, канд. техн. наук

 20.06.2019
(подпись, дата)

А.Б. Булгаков

Нормоконтроль

профессор, д-р техн. наук

 25.06.2019
(подпись, дата)

О.В. Скрипко

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

О.В. Скрипко
И.О. Фамилия

« 26 » июня 2019 г.

ЗАДАНИЕ

К выпускной квалификационной работе студента Макарова Никиты Александровича

1. Тема выпускной квалификационной работы: Автоматизированная система управления зарядом ионисторной батареи от фотоэлектрической установки

(утверждена приказом от 24.05.19 № 1168-уч)

2. Срок сдачи студентом законченной работы 25.06.19

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе:

- материалы, собранные в ходе практики;
- материалы, полученные в ходе написания курсовых проектов;
- материалы, собранные в ходе написания курсовых работ.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов):

- описание объекта автоматизации; идея разработки;
- разработка необходимых устройств;
- разработка модуля балансировки напряжения;
- изготовление платы модуля балансировки напряжения;
- безопасность и экологичность.

5. Перечень материалов приложения:

- таблица значений электрических характеристик солнечной панели, полученных в ходе исследования;
- таблица зависимостей тока эмиттера транзистора от напряжения питания;
- таблица выходных вольтамперных характеристик транзистора;
- таблица результатов исследований стабилизатора напряжения;
- изображения основных узлов фотоэлектрической системы;
- основные характеристики ионисторов;
- схема стенда для исследования стабилизатора напряжения;
- этапы создания стенда для исследования стабилизатора напряжения;

- принципиальные схемы основных элементов фотоэлектрической установки;
- результаты исследования фотоэлектрической установки.

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе:

Безопасность и экологичность – Булгаков А.Б., доцент, канд. техн. наук

7. Дата выдачи задания 15.04.19

Руководитель выпускной квалификационной работы Усенко Валентин Иванович, доцент кафедры АППиЭ, канд. техн. наук.

Задание принял к исполнению (дата): 15.04.19

(подпись студента)

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ

Объект автоматизации – система, управляющая процессом зарядки батарей ионисторов от фотоэлектрической установки.

Назначение: командой предлагаемых в проекте решений является применение вместо аккумулятора зарядной цепи ионисторов с регулятором зарядки ионистора.

Основные конструктивные и технико-эксплуатационные характеристики: накопитель электроэнергии состоит из двух функциональных частей: контроллера управления и согласованной фотоэлектрической установки с батареями ионисторов, батареи ионисторов и преобразователя напряжения.

Область применения: созданный накопитель электроэнергии будет использоваться в следующих областях:

- в малой и в альтернативной электроэнергетике: объекте и устройстве, которое накапливает избыток электроэнергии, вырабатываемой источником возобновляемой энергии;

- в электрической промышленности при изготовлении устройств, использующих распределенные источники питания;

- в робототехнике при создании автономных и передвижных роботов;

- в транспорте для замены аккумуляторов;

- в системах охранной и пожарной сигнализации в качестве дополнительной батареи питания.

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит: 70 с., 58 рисунков, 5 таблиц, 16 источников, 3 приложения.

КОНТРОЛЛЕР ЗАРЯДА, ИОНИСТОР, СОЛНЕЧНАЯ БАТАРЕЯ, ИНВЕРТОР, ЗАРЯД, НАПРЯЖЕНИЕ, МОЩНОСТЬ, РАЗРАБОТКА, ПЛАТА, ПРЕОБРАЗОВАНИЕ

Объект автоматизации – система, управляющая процессом заряда батареи ионисторов от фотоэлектрической установки.

Новизна: новизной предлагаемых в проекте решений является применение вместо аккумуляторов значительной по энергоёмкости батареи ионисторов с регулятором заряда и напряжения.

Основные конструктивные и технико-эксплуатационные характеристики: накопитель электроэнергии состоит из трёх функциональных частей: контроллера управления и согласования фотоэлектрической установки с батареей ионисторов, батареи ионисторов и преобразователя напряжения.

Область применения: созданный накопитель электроэнергии будет использоваться в следующих областях:

- в малой или альтернативной электроэнергетике энергетике в качестве устройства, которое накапливает избыток электроэнергии, вырабатываемый источником с непостоянной генерацией;
- в электротехнической промышленности при изготовлении устройств, использующих автономные источники питания;
- в робототехнике при создании автономных и передвигающихся роботов;
- в транспорте для замены аккумуляторов;
- в системах охранной и пожарной сигнализации в качестве источников аварийного питания.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	8
1 Разработка накопителя электрической энергии	10
1.1 Принцип действия ионистора	10
1.2 Технические характеристики современных ионисторов	11
1.3 Достоинства и недостатки	12
1.4 Особенности процесса заряда и разряда ионистора	14
1.5 Схема накопления электрической энергии	18
1.6 Конструкция батареи ионисторов	19
1.7 Расчет батареи ионисторов	20
1.8 Расчет фотоэлектрической установки	22
2 Выбор устройств асу процессом заряда ионисторной батареей	24
2.1 Инвертор	24
2.2 Батарея ионисторов	25
2.3 Выбор дополнительных устройств	25
2.3.1 Ионистор	25
2.3.2 Фотоэлементы	26
2.4 Выбор контроллера заряда	27
3 Разработка устройств асу процессом заряда ионисторной батареей	34
3.1 Изготовление фотоэлектрической панели	34
3.2 Разработка модуля балансировки напряжения	35
3.3 Изготовление платы модуля балансировки напряжения	45
3.4 Исследование фотоэлектрической установки	59
4 Безопасность и экологичность	62
4.1 Техника безопасности при эксплуатации фотоэлектрической установки	62
4.1.1 Расчет автоматического выключателя для фотоэлектрической установки	62
4.1.2 Заземление	64
4.2 Экологичность	65

4.3 Чрезвычайные ситуации	66
4.3.1 Пожар	66
4.3.2 Поломка контроллера	67
4.3.3 При обнаружении других неисправностей	67
Заключение	68
Библиографический список	69
Приложение А Электрические характеристики солнечной панели	71
Приложение Б Вольтамперные характеристики транзистора	72
Приложение В Результаты исследований стабилизатора напряжения	74

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

ЭПС – эквивалентное последовательное сопротивление;

МРРТ – слежение за точкой максимальной мощности;

ШИМ – широтно-импульсная модуляция;

ФЭС – фотоэлектрическая система;

ФБ – фотоэлектрическая батарея;

АКБ – аккумуляторная батарея;

КПД – коэффициент полезного действия;

ЧПУ – числовое программное управление;

АВ – автоматический выключатель.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день аккумуляторные технологии значительно продвинулись и стали более совершенными по сравнению с прошлым десятилетием. Но все же, пока что аккумуляторные батареи остаются расходным материалом, потому как имеют небольшой ресурс. Потребности общества в накопителях электрической энергии по-прежнему не удовлетворены. Появление и развитие альтернативной электроэнергетики повысило спрос и технические требования к накопителям электрической энергии, которые используются в качестве сглаживающих или накапливающих электрическую энергию устройств.

До недавнего времени в качестве накопителей электроэнергии повсеместно использовались различные химические источники электрической энергии. С появлением ионисторов с большими значениями электрической ёмкости, во многих маломощных потребителях электроэнергии стали отказываться от аккумуляторов ввиду их ограниченного срока службы и количества циклов перезаряда. В таких устройствах стал использоваться ионистор, который заряжается от внешнего источника, например солнечной панели, а затем накопленный заряд в моменты, когда солнечная панель не вырабатывает электроэнергию, обеспечивает электропитанием маломощный потребитель. Достоинством такого решения является большой срок службы ионисторов, простота обслуживания, быстрый заряд/разряд, возможность работы при низких температурах.

Конечно, на сегодня, ионисторы по энергоёмкости намного уступают химическим аккумуляторам, но развитие технологии производства ионисторов ведёт к тому, что энергоёмкость этих устройств сравняется, тогда ионистор станет полноценным конкурентом аккумулятору в мощных накопителях электроэнергии. Ионисторы емкостью единицы фарад используются в портативной электронике, для обеспечения бесперебойного питания слаботочных цепей, например микроконтроллера. А ионисторы емкостью десятки тысяч фарад используются совместно с аккумуляторами для питания

различных электродвигателей. В такой комбинации ионистор позволяет уменьшить нагрузку на аккумуляторные батареи, что значительно увеличивает их срок службы аккумулятора и одновременно увеличивает стартовый ток, который способна отдать гибридная система питания двигателя.

Поэтому, важно вести разработки по созданию накопителей электроэнергии на ионисторах для мощных потребителей. В связи с этим необходимо решить схемотехнические задачи: объединения отдельных ионисторов в батареи большой емкости, стабилизации напряжения на отдельных ионисторах, согласование электрических параметров полученной батареи с источниками электроэнергии и др.

1 РАЗРАБОТКА НАКОПИТЕЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

1.1 Принцип действия ионистора

Ионистор (суперконденсатор, двухслойный электрохимический конденсатор) – электрохимическое устройство, конденсатор с органическим или неорганическим электролитом, обкладками в котором служит двойной электрический слой на границе раздела электрода и электролита. По характеристикам занимает промежуточное положение между конденсатором и химическим источником тока [1].

Соответственно, назначение ионистора такое же, как и у конденсатора – накопление электрической энергии. Материал, из которого производят обкладки ионистора, представляет собой пористую структуру (вспененный углерод или активированный уголь), поэтому их площадь значительно выше, чем у обычных конденсаторов, а чем больше площадь обкладок ионистора, тем больше его емкость. Благодаря таким материалам, емкость ионисторов может достигать нескольких тысяч фарад.

В принципе действия ионистора лежит процесс разделения потенциалов, который заключается в следующем: при подаче на электроды ионистора соответственно положительного и отрицательного потенциала они поляризуются, в следствие чего, все свободные заряженные частицы внутри ионистора накапливаются на электродах, положительные частицы концентрируются на катоде, отрицательные – на аноде, формируется двойной электрический слой, таким образом происходит процесс заряда (рисунок 1). После чего, накопленный заряд можно использовать, подключив нагрузку [2].

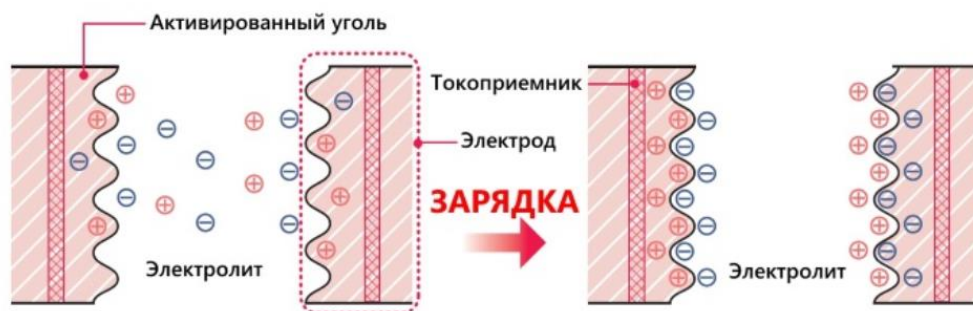


Рисунок 1 – Принцип работы ионистора

1.2 Технические характеристики современных ионисторов

Ионисторы имеют следующие характеристики:

Для примера взят ионистор компании Green-Cap (рисунок 2).



Рисунок 2 – Ионистор Green-Cap

- номинальное напряжение: 2,7 В;
- номинальная емкость: 500 Ф, допустимое отклонение которой $\pm 5\%$ при температуре $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$. В данном случае, допустимое отклонение емкости находится в пределах $475 \div 525\text{ Ф}$;
- максимальное начальное сопротивление, ESR (Equivalent Series Resistance, эквивалентное последовательное сопротивление): 3,1 мОм;
- продолжительный ток, при повышении температуры ионистора не более $15\text{ }^{\circ}\text{C}$: 25 А;
- пиковый ток длительностью протекания 1 с, при разряде ионистора, до напряжения равного половине номинального: 264,7 А;
- номинальный ток утечки, при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 72 часов: 1,1 мА;
- пиковая мощность: 870 Вт;
- максимальная запасаемая энергия: 0,51 Вт·ч;
- удельная энергия: 5,69 (Вт·ч)/кг;
- количество циклов заряда/разряда при $25\text{ }^{\circ}\text{C}$: 500000 циклов.

Ионисторы имеют ряд стандартных напряжений, основными из которых являются 2,5 В, 2,7 В. Кроме того, к не менее важным параметрам ионисторов относят их габариты (рисунок 3) и вес, так как такие элементы с высокой емкостью будут иметь значительные размеры и достаточно большой вес, что может затруднить их монтаж на объекте или размещение в помещении [3].

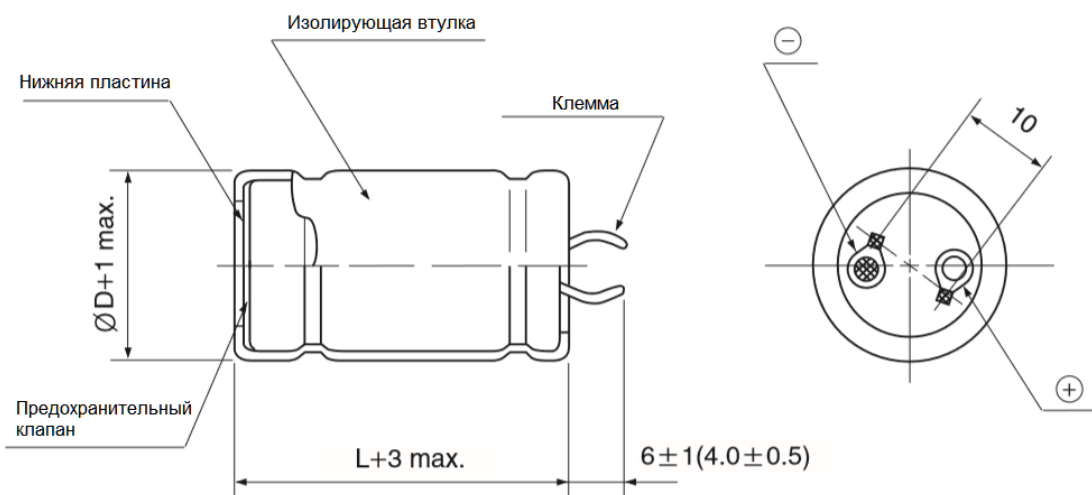


Рисунок 3 – Конструкция и габаритные размеры ионистора

1.3 Достоинства и недостатки

Плюсы ионистора:

- малое время заряда и разряда. Благодаря этому ионистор можно быстро зарядить и использовать, тогда, как на заряд аккумуляторных батарей уходит значительное время;
- количество циклов заряд/разряд: более 300000 (без потерь емкости);
- не требуют обслуживания;
- небольшой вес и габариты;
- работает в широком диапазоне температур (от -40°C до $+70^{\circ}\text{C}$). При температуре больше $+70^{\circ}\text{C}$ ионистор, как правило, разрушается;
- длительный срок службы: более 20 лет;
- большие токи разряда, что обеспечивает эффективную разрядку на нагрузку.

Минусы ионистора:

- большие токи саморазряда;
- низкое рабочее напряжение;
- небольшая плотность энергии;
- высокая цена.

Современные литий-ионные аккумуляторы могут отдавать только 60 % электроэнергии, израсходованной на их зарядку. У суперконденсаторов данный показатель превышает 90 % [4].

Для примера можно привести характеристики свинцово-кислотного аккумулятора фирмы Delta серии GX, часто используемые в системах с солнечными батареями (рисунок 4):



Рисунок 4 – Аккумулятор Delta

Номинальное напряжение: 12 В;

Температурные режимы:

- хранение: от -35 °С до +60 °С;
- заряд: от -10 °С до +60 °С;
- разряд: от -20 °С до +60 °С;

Расчетный срок службы: 5 лет;

Габаритные размеры:

- длина: 151 мм;
- ширина: 98 мм;
- высота: 101 мм;
- вес: 3,7 кг.

Таким образом, можно выделить плюсы и минусы аккумуляторов.

Плюсы аккумулятора:

- малые токи саморазряда;
- бóльшая энергоемкость по сравнению с ионистором;
- высокое рабочее напряжение.

Минусы аккумулятора:

- Большое время заряда;
- Количество циклов заряд/разряд: 200 - 300 (80 % разряда);
- Обслуживание: каждые 3 - 6 месяцев;
- Достаточно большой вес;
- Рабочие температуры заряда/разряда: от -20 до +50 °С;
- Небольшой срок службы: до 10 лет.

Сравнивая характеристики аккумуляторов и ионисторов, можно сделать вывод, что использовать ионисторы в качестве накопителей заряда в фотоэлектрических системах намного удобнее, чем стандартные аккумуляторы. Главным минусом ионисторов является их цена, но с развитием технологий по изготовлению суперконденсаторов, цена на данные устройства будет стремительно падать.

1.4 Особенности процесса заряда и разряда ионистора

При заряде ионисторов нужно внимательно следить за величиной напряжения заряда, оно не должно превышать номинального напряжения ионистора, указанного в его технических характеристиках, так как это может привести к уменьшению емкости устройства или к полному выходу из строя. Кроме того, ток заряда также не должен превышать номинального, иначе это может привести к пробое и короткому замыканию электродов, а в следствии – к выходу из строя [5].

Далее представлены графики зависимостей емкости и эквивалентного последовательного сопротивления (ЭПС) ионистора от температуры и от времени (рисунки 5 - 8) [3]. Данные графики представлены для ионисторов фирмы Green-Cap модели DB 2.7V 360F, с рабочим напряжением 2,7 В и емкостью 360 Ф.

График (рисунок 5) показывает зависимость емкости ионистора от окружающей температуры. Если рабочая температура находится в пределах от -40 °С до +20 °С, то емкость равна приблизительно 100 %, при дальнейшем увеличении температуры данный показатель начинает падать.

ЭПС – эквивалентное последовательное сопротивление – параметр ионистора, единицей измерения которого является Ом, характеризует то, как быстро будет разряжаться ионистор в пассивном режиме, то есть – это внутреннее сопротивление, которое обеспечивает нагрев суперконденсатора и образует токи утечки. Чем выше показатель ЭПС, тем больше греется конденсатор, соответственно, чем выше окружающая температура, тем больше данный показатель (рисунок 6). Кроме того, показатель ЭПС увеличивается со временем, так как любые конденсаторы имеют токи утечки (рисунок 7).

Из графика (рисунок 8) видно, что время саморазряда ионистора до 85 % от емкости будет составлять примерно 2000 часов. Это говорит о том, что при ежедневном заряде и разряде ионистора в течение суток, накопленное напряжение будет падать всего лишь на 0,24 %, таким образом, суточные потери можно не учитывать.

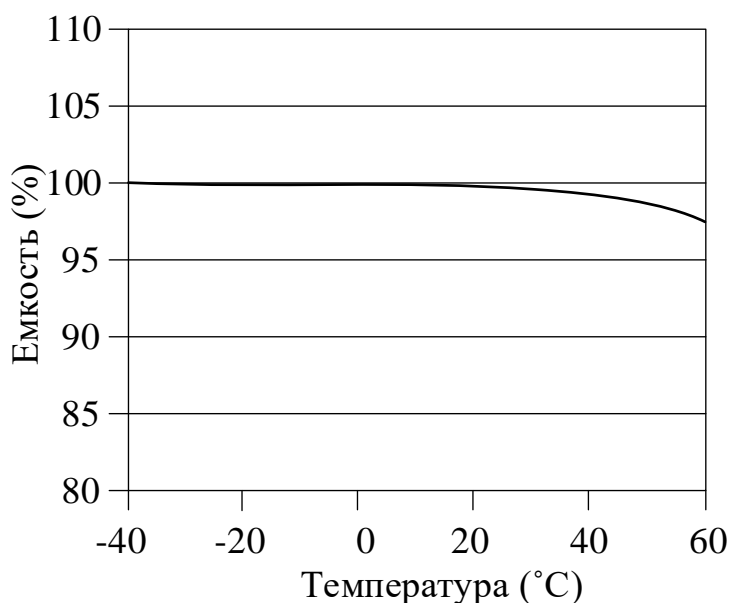


Рисунок 5 – График зависимости емкости ионистора от температуры

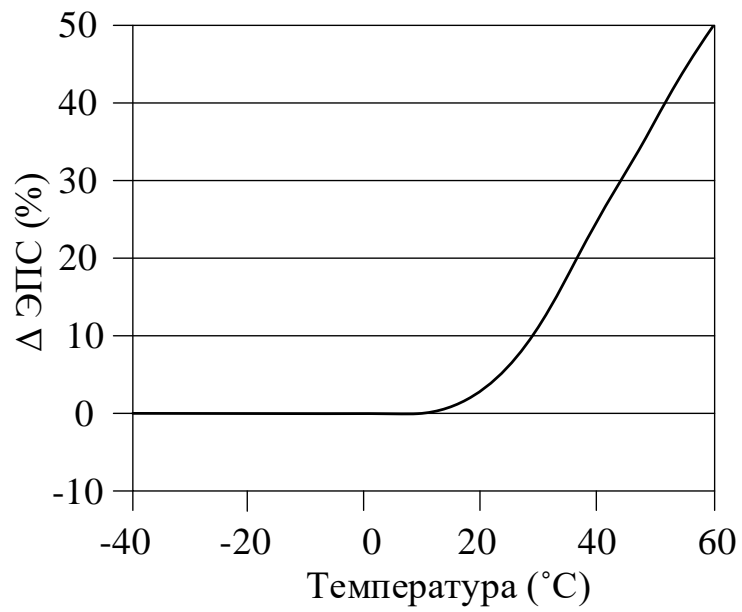


Рисунок 6 – График зависимости эквивалентного последовательного сопротивления ионистора от температуры

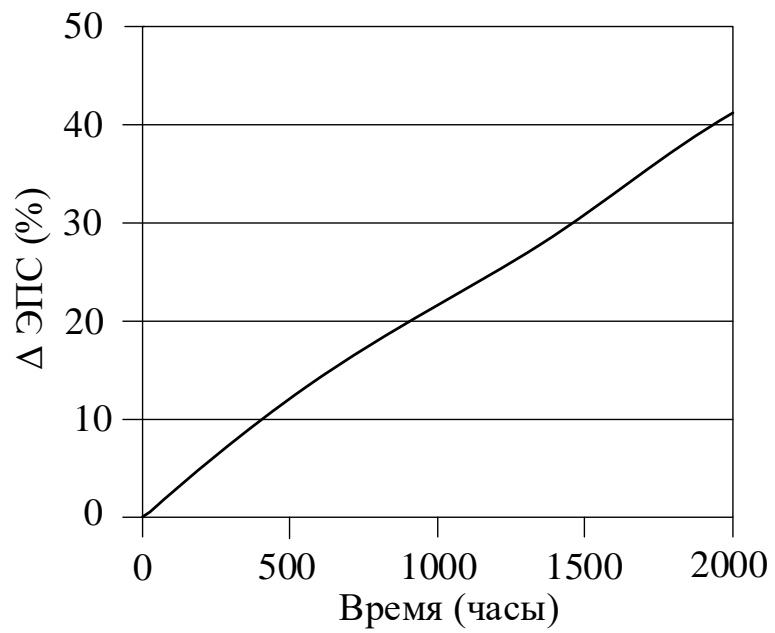


Рисунок 7 – График зависимости эквивалентного последовательного сопротивления ионистора от времени

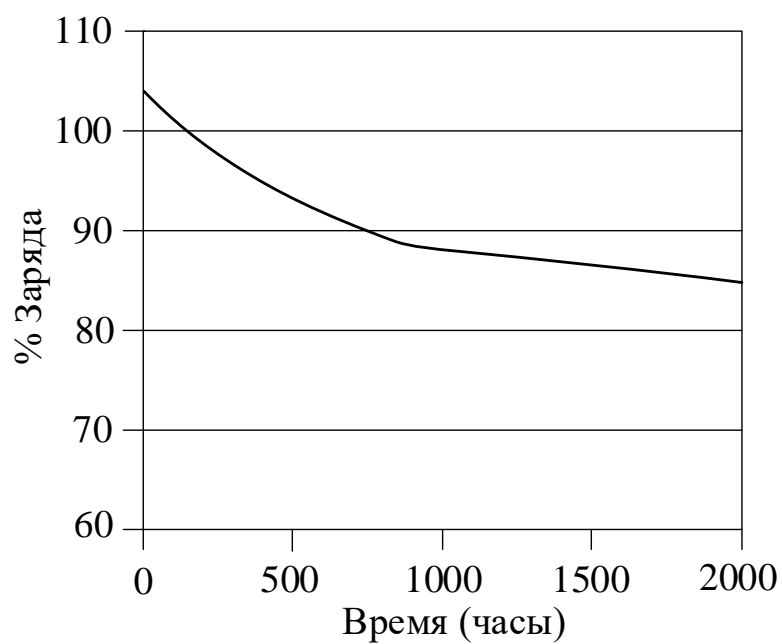


Рисунок 8 – Зависимость времени саморазряда при различном времени заряда

Далее представлен график зависимости мощности ионистора от напряжения питания и тока (рисунок 9).

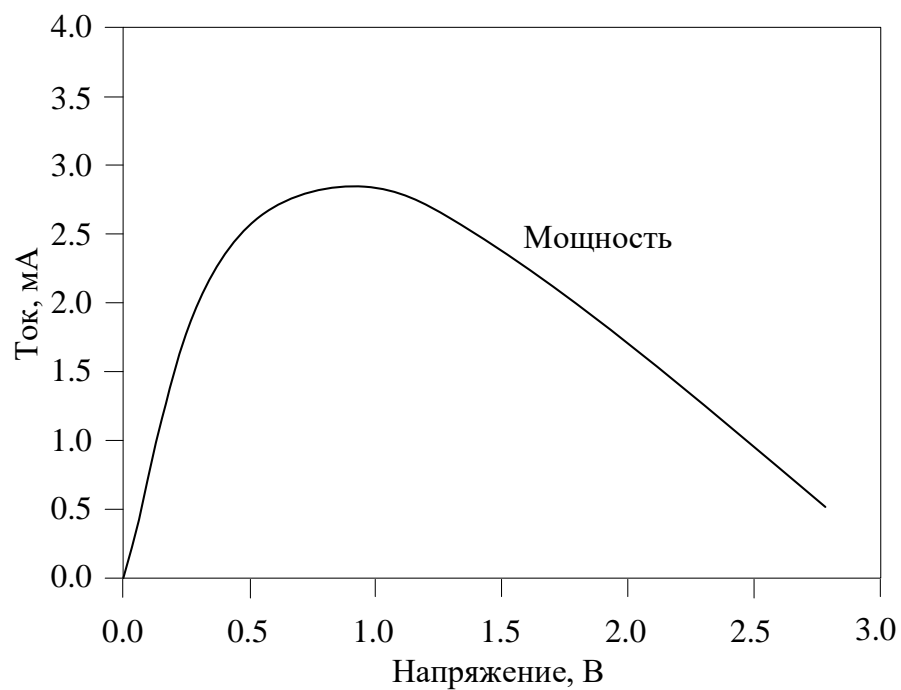


Рисунок 9 – Мощность ионистора

Накопление электрической энергии, вырабатываемой фотоэлектрической установкой, в накопителе, использующем батарею ионисторов, происходит за счет:

- обеспечения режима работы солнечных панелей в точке максимальной мощности;
- обеспечения заряда батареи ионисторов до заданного напряжения (ограниченного максимальным напряжением ионисторов);
- согласования уровня напряжений солнечных панелей и батареи ионисторов.

1.5 Схема накопления электрической энергии

Схема накопления электрической энергии будет выглядеть следующим образом: солнечная батарея получает энергию от солнца и вырабатывает электрическую энергию. Затем к солнечной батарее подключается устройство согласования напряжения или контроллер заряда, который обеспечивает работу солнечной батареи в режиме максимальной мощности (MPPT – Maximum Power Point Tracker). К контроллеру подключается батарея ионисторов через модуль балансировки напряжения. Этот модуль необходим для равномерного заряда ячеек ионисторов, а также для предотвращения перезаряда отдельных ионисторов. Далее следует преобразователь разряда, подключенный к батарее ионисторов. Он преобразует постоянное напряжение от 3 до 13,5 вольт в переменное и повышает его до 220 вольт для дальнейшего использования.

Данная схема приведена на рисунке 10.

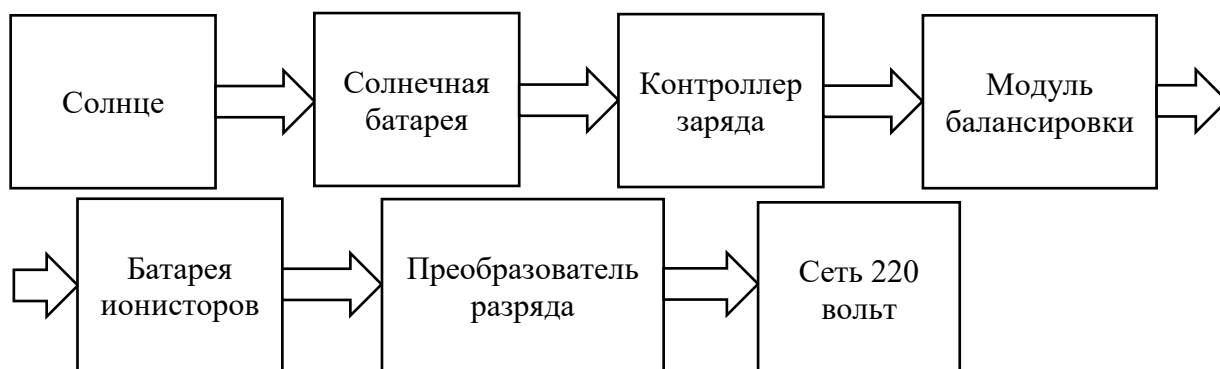


Рисунок 10 – Схема накопления электрической энергии

Также, схему (рисунок 10) можно представить в виде принципиальной схемы установки в целом (рисунок 11).

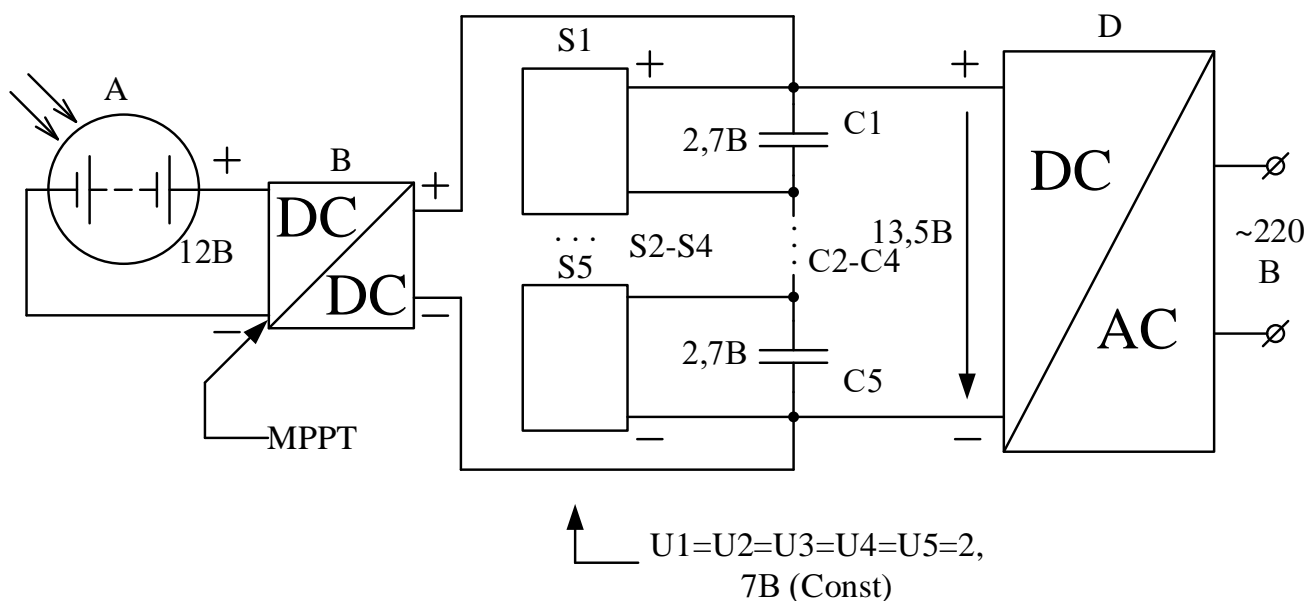


Рисунок 11 – Схема принципиальная установки

На схеме (рисунок 11):

A – солнечная батарея;

B – контроллер заряда;

S1 – S5 – модули (платы) балансировки;

C1 – C5 – батарея ионисторов (5 рядов);

D – преобразователь напряжения (инвертор).

1.6 Конструкция батареи ионисторов

В большинстве случаев необходимо, чтобы ячейки были соединены последовательно, чтобы достичь более высоких значений рабочих напряжений. Для последовательно соединенных ячеек лучше уменьшать значения номинального напряжения, в целях снижения отрицательного воздействия несбалансированных ячеек на срок эксплуатации системы. Эквивалентное последовательное сопротивление при таком подключении увеличивается пропорционально количеству ячеек. Емкость уменьшается пропорционально количеству ячеек. Батарея ионисторов представляет собой герметичный корпус, в котором заключены ионисторы, каждый емкостью 500 Ф и напряжением 2,7 В.

По предварительным расчётам для батареи на 2000 Ф потребуется 100 ионисторов, которые будут образовывать 5 рядов по 20 шт. в ряду. Ионисторы в ряду подключены параллельно и образуют емкость 10000 Ф, ряды ионисторов подключаются последовательно, образуя общую емкость в 2000 Ф и максимальным напряжением 13,5 В. Одинаковое напряжение заряда в каждом ряду обеспечивается стабилизаторами напряжения, ограничивающими максимальное напряжение величиной 2,7 В. На внешней части корпуса имеются клеммы для подключения источника питания, нагрузки и разъём контроллерного управления.

1.7 Расчет батареи ионисторов

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

Рассчитаем количество энергии нагрузки W_n :

$$W_n = P_n \cdot t_n = 20 \cdot 9 \cdot 3600 = 648000 \text{ Дж} = 180 \text{ Вт} \cdot \text{ч}; \quad (1)$$

где P_n – мощность нагрузки, Вт;

t_n – время работы нагрузки, ч.

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

$$C = \frac{2W_n}{U^2} = \frac{2 \cdot 648000}{12^2} = 9000 \text{ Ф}; \quad (2)$$

где W_n – 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 7-8 вольт. Поэтому рабочее напряжение U в формуле (2) нужно уменьшить до 8 вольт:

$$C = \frac{2W_{л}}{U_H^2 - U_K^2} = \frac{2 \cdot 648000}{13,5^2 - 8^2} \approx 11000 \text{ Ф}; \quad (3)$$

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

U_H – напряжение батареи ионисторов, В;

U_K – минимальное рабочее напряжение нагрузки (на инверторе), В;

Полученное значение емкости нужно умножить на 5, чтобы компенсировать потери емкости при соединении 5 последовательных рядов:

$$N_{и} = 11000 \cdot 5 = 55000 \text{ Ф}; \quad (4)$$

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

$$N_{и} = 55000 / 500 = 110 \text{ шт.}; \quad (5)$$

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 109 суперконденсатора.

$$N_{и} = 110 \cdot 5 = 550 \text{ шт.}; \quad (6)$$

Таким образом, нам необходимо иметь в общем 550 ионисторов по 500 Ф с рабочим напряжением 2,7 В. Они будут образовывать батарею из пяти рядов ионисторов. Емкость $Q_{нак}$ данного накопителя составит:

$$Q_{\text{нак}} = 2 \cdot \frac{W_{\text{л}}}{U_{\text{н}}} = 2 \cdot \frac{180}{13,5} = 27 \text{ А} \cdot \text{ч}; \quad (7)$$

где $W_{\text{л}}$ – количество энергии нагрузки, Вт·ч;

$U_{\text{н}}$ – напряжение батареи ионисторов, В.

1.8 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 (8):

$$W_{\text{н}} = P_{\text{н}} \cdot t_{\text{н}} = W_{\text{сб}} = P_{\text{сб}} \cdot t_{\text{сб}}; \quad (8)$$

где $W_{\text{н}}$ – количество энергии нагрузки, Дж;

$P_{\text{н}}$ – мощность нагрузки, Вт;

$t_{\text{н}}$ – время работы нагрузки, ч;

$W_{\text{сб}}$ – количество энергии, вырабатываемой солнечной батареей, Дж;

$P_{\text{сб}}$ – мощность солнечной батареи, Вт;

$t_{\text{сб}}$ – время работы солнечной батареи, ч;

Из данной формулы нужно выразить мощность солнечной батареи:

$$P_{\text{сб}} = \frac{P_{\text{н}} \cdot t_{\text{н}}}{t_{\text{сб}}} = \frac{20 \cdot 9}{7} = 25,7 \text{ Вт}; \quad (9)$$

где $P_{\text{н}}$ – мощность нагрузки, Вт;

$t_{\text{н}}$ – время работы нагрузки, ч;

$t_{\text{сб}}$ – время работы солнечной батареи, ч;

Таким образом мы получаем нагрузку, вырабатываемую солнечной батареей, необходимую для зарядки 550 конденсаторов 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 ВЫБОР УСТРОЙСТВ АСУ ПРОЦЕССОМ ЗАРЯДА ИОНИСТОРНОЙ БАТАРЕИ

2.1 Инвертор

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 12) [6].



Рисунок 12 – 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.

В зависимости от модели инвертора 12–220 вольт, потребители на выходе получают прямоугольную синусоиду напряжения или в более дорогих конструкциях она соответствует стандартному значению. В данном случае на выходе имеем не чистый синусоидальный сигнал, а прямоугольную синусоиду. Некоторые приборы, обладающие большой пусковой мощностью, невозможно запустить от преобразователя. Для этого необходимо применять переходники, состоящие из конденсаторов, которые могут обеспечить достаточный пусковой ток. Иногда просто необходимо ограничить применение некоторого электрического оборудования.

2.2 Батарея ионисторов

Батарея была выбрана с номинальным напряжением 16,2 В (рисунок 13).

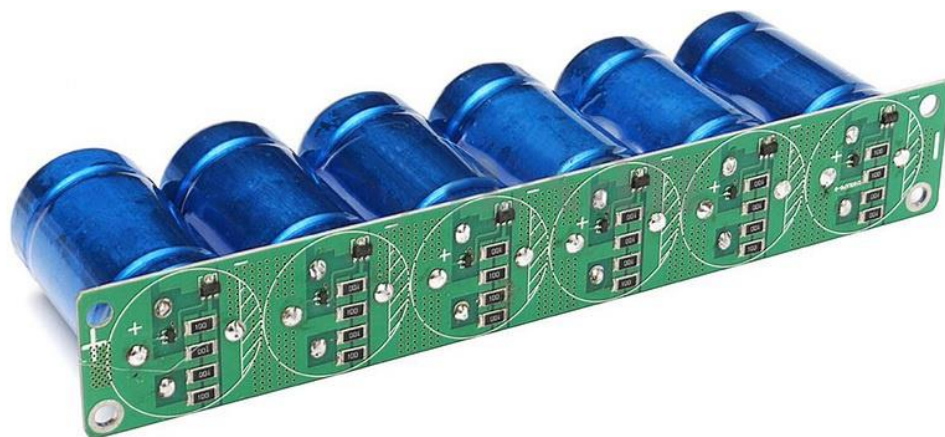


Рисунок 13 – Батарея ионисторов

Она представляет собой шесть последовательно соединенных ионисторов по 500 Ф и 2,7 В каждый, таким образом общая емкость батареи составляет 83,3 Ф [7].

Габаритные размеры: 23 x 3,5 x 6 см.

2.3 Выбор дополнительных устройств

2.3.1 Ионистор

В данном проекте будут использоваться ионисторы марки Green-cap емкостью 500 фарад и рабочим напряжением 2,7 вольта (рисунок 14) [8].



Рисунок 14 – Ионистор Green-Cap

Характеристики:

- номинальное напряжение: 2,8 В;
- емкость: 500 Ф;
- размер: 50·60 мм.

2.3.2 Фотоэлементы

Фотоэлемент – это устройство, которое генерирует электричество благодаря солнечной энергии. При попадании на него солнечных лучей, в нем образуется фотоэдс – электродвижущая сила. Фотоэлементы могут быть созданы из монокристаллического кремния или поликристаллического кремния. Монокристаллический фотоэлемент имеет более высокий КПД (на 2 – 3 %) В качестве фотоэлектрических элементов для создания батареи были выбраны поликристаллические элементы мощностью 4,5 Вт (рисунок 15) [9]. Коэффициент полезного действия таких панелей находится в районе 15,4 %.

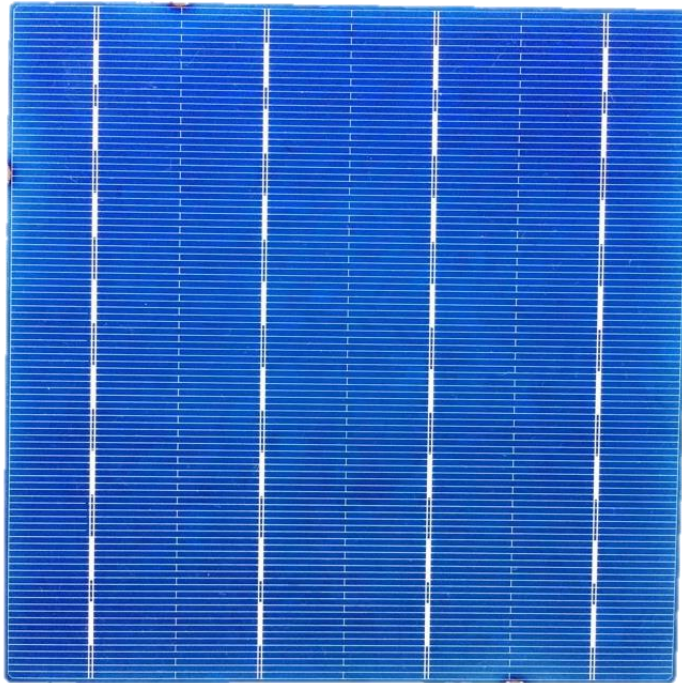


Рисунок 15 – Фотоэлектрический элемент

Габаритные размеры:

- высота: 156 мм;
- ширина: 156 мм.

2.4 Выбор контроллера заряда

Контроллер является «мозгом» всей системы. Он позволяет работать солнечным батареям в режиме максимальной мощности. Существуют два основных вида контроллеров, которые используют в солнечных или ветровых установках по получению электроэнергии: MPPT (рисунок 16) и PWM (ШИМ) (рисунок 17). Также существует еще ON/OFF контроллер, но он почти не применяется в данных системах [10].



Рисунок 16 – Стандартный MPPT контроллер



Рисунок 17 – Стандартный PWM контроллер

Рассмотрим сравнительные характеристики данных контроллеров.

Достоинства MPPT:

- возможность использования в различных системах, различающихся по источнику получения энергии (солнечные, ветровые, комбинированные системы);
- высокий КПД;
- создание оптимальных условий работы для аккумуляторных батарей позволяет продлить сроки их эксплуатации;

- высокое напряжение на входе позволяет уменьшить сечение кабелей и проводов, используемых для соединения элементов системы или увеличить расстояние от источника энергии до контроллера;

- использование устройств данного типа позволяют увеличить эффективность использования солнечных батарей, что обусловлено возможностью заряда аккумуляторов при низкой освещённости.

Недостатки МРРТ:

- высокая стоимость;

- более сложная технология, в равнении с аналогами.

Достоинства ШИМ (ШИМ контроллеры делятся на шунтовые и последовательные):

- низкая стоимость;

- последовательные модели: позволяют использовать одновременно различные источники энергии и создают низкий нагрев во время регулирования;

- шунтовые модели: незначительные потери мощности в процессе работы, слабые электромагнитные помехи и низкий уровень падения напряжения в ключах.

Недостатки ШИМ:

- последовательные модели: при полном заряде источник энергии отключается, значительные потери в последовательных ключах, электромагнитные помехи.

- шунтовые модели: значительный нагрев во время работы, невозможность использования с иными источниками энергии, кроме солнечных панелей.

Принцип работы ШИМ-контроллера:

Напряжение от солнечной панели по двум проводникам (плюсовой и минусовой) приходит на стабилизирующий элемент и разделительную резистивную цепочку. За счёт этой части схемы получают выравнивание потенциалов входного напряжения и в какой-то степени организуют защиту входа контроллера от превышения границы напряжения входа. Здесь следует

подчеркнуть: каждая отдельно взятая модель аппарата имеет конкретную границу по напряжению входа (указано в документации). Далее напряжение и ток ограничиваются до необходимой величины силовыми транзисторами. Эти компоненты схемы, в свою очередь, управляются чипом контроллера через микросхему драйвера. В результате на выходе пары силовых транзисторов устанавливается нормальное значение напряжения и тока для аккумулятора.

Также в схеме присутствует датчик температуры и драйвер, управляющий силовым транзистором, которым регулируется мощность нагрузки (защита от глубокой разрядки АКБ). Датчиком температуры контролируется состояние нагрева важных элементов контроллера ШИМ, обычно уровень температуры внутри корпуса или на радиаторах силовых транзисторов. Если температура выходит за границы установленной в настройках, прибор отключает все линии активного питания.

Несмотря на одно достаточно весомое преимущество ШИМ контроллера – низкую цену, для солнечной установки лучше выбрать контроллер с MPPT режимом, так как он будет работать более эффективно.

Принцип работы MPPT-контроллера:

Суть метода MPPT заключается в следующем: контроллер постоянно снимает значения напряжения и тока с солнечных батарей и с заданной периодичностью перемножает их, получая значение мощности. Затем, контроллер «отслеживает», куда перемещается точка максимальной мощности и подстраивает значение тока определенным образом (рисунок 18). Кроме того, в современных контроллерах с MPPT предусмотрено слежение за стадией зарядки аккумуляторов (наполнение, насыщение, выравнивание, поддержка), и в зависимости от стадии контроллер использует разные режимы заряда. Это значительно продлевает срок службы аккумуляторов. Кроме того, еще существуют контроллеры, которые управляют нагрузкой, отключая и подключая ее, учитывая уровень заряда в аккумуляторах [11].

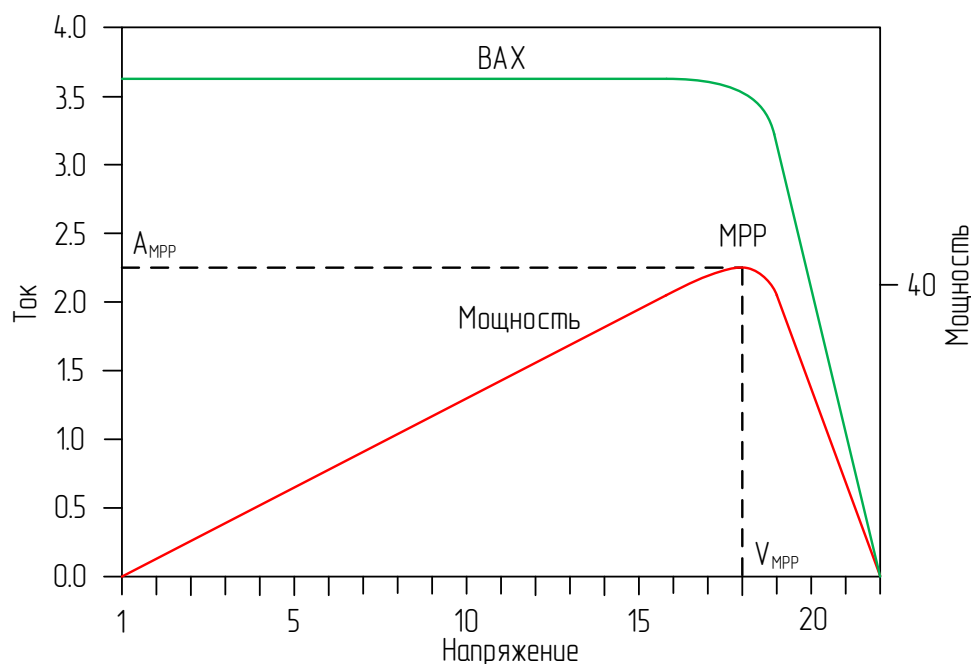


Рисунок 18 – Точка максимальной мощности и вольтамперная характеристика аккумулятора

Сравнивая рисунок 18 с рисунком 9, можно заметить, что ионистор и аккумулятор имеют идентичные графики мощностей и в некоторых пределах одинаковые вольтамперные характеристики. Это говорит о том, что ионистор можно применять вместо аккумуляторов в фотоэлектрических системах, а также регулировать заряд и разряд с помощью контроллера, но в небольших пределах отклонения вольтамперной характеристики.

Схематически подключение к контроллеру необходимых устройств можно выполнить в соответствии с рисунком 19.

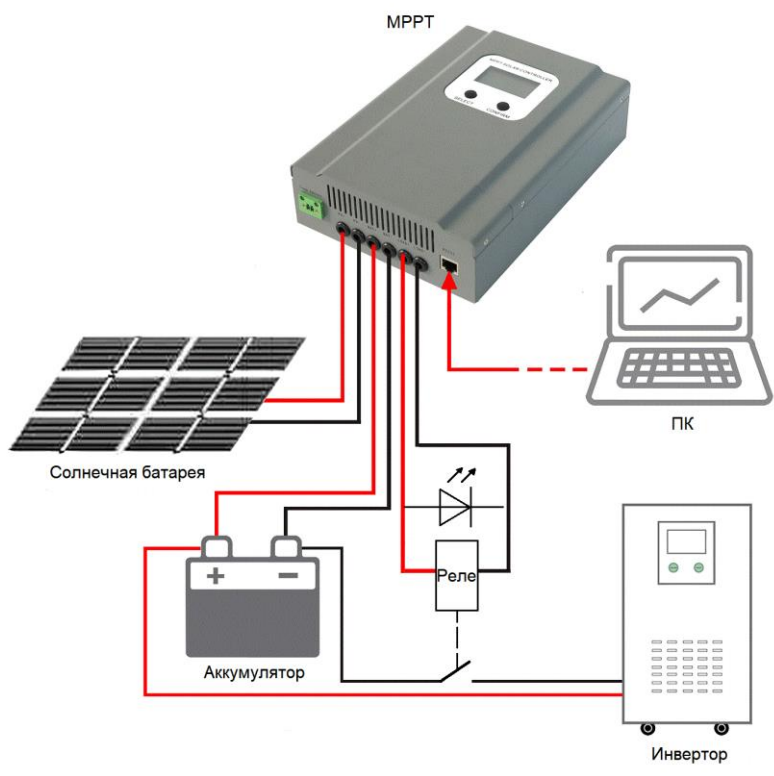


Рисунок 19 – Подключение устройств к контроллеру

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 10).

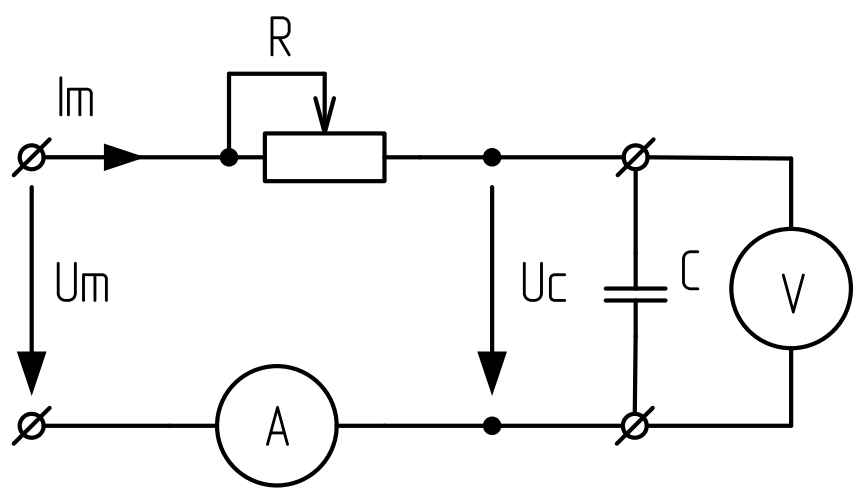


Рисунок 20 – Схема работы контроллера заряда

Итак, для выбора контроллера заряда нужно учитывать два основных показателя фотоэлектрической установки – это максимальный ток, который дают солнечные батареи, и рабочее напряжение. В данном случае максимальный ток равен 1,62 А при пиковой мощности и 1,73 А при коротком замыкании, а рабочее напряжение 12 В. Из этого следует, что подойдет контроллер с рабочим напряжением 12 В и максимальной силой пропускаемого тока в 5 А (минимальное значение для контроллеров заряда).

В качестве примера был выбран ШИМ-контроллер фирмы «PowMr», модель RBL-30A (рисунок 21) [12].

Технические характеристики контроллера:

- напряжение солнечных батарей: 12 В или 24 В;
- максимальный ток заряда: 30 А;
- максимальная мощность: 780 Вт;
- напряжение АКБ: 13,7 В;
- максимальное напряжение заряда: от 12 В до 15 В;
- минимальное напряжение заряда: от 10 В до 11 В;
- напряжение повторного включения заряда: от 10 В до 14 В;



Рисунок 21 – ШИМ-контроллер заряда PowMr RBL-30A

3 РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВ АСУ ПРОЦЕССОМ ЗАРЯДА ИОНИСТОРНОЙ БАТАРЕИ

3.1 Изготовление фотоэлектрической панели

Была собрана солнечная панель мощностью 90 Вт из 20 последовательно соединенных фотоэлементов (рисунок 22).



Рисунок 22 – Солнечная панель DeltaSM 30-12 М

Характеристики:

- номинальная мощность: 90 Вт;
- номинальное напряжение: 12 В;
- напряжение при пиковой мощности: 14,3 В;
- тип солнечных элементов: поликристаллические.

Нам необходимо заряжать батарею суперконденсаторов с общим напряжением 13,5 В, выбранная солнечная панель рассчитана на номинальное напряжение 12 В, но при пиковой мощности, напряжение доходит до 14,3 В, этого вполне достаточно для зарядки имеющейся батареи ионисторов.

С данной солнечной панелью были проведены опыты, благодаря которым получены зависимости напряжения и тока панели от освещенности. К ней была

подключена нагрузка в виде блоков переменного сопротивления (реостатов), и с помощью мультиметров сняты необходимые электрические характеристики при разном уровне освещенности и разной величине нагрузки. Источником света являлось солнце.

После снятия всех нужных параметров по трем осям был построен график зависимости напряжения и тока панели от освещенности, показанный на рисунке 23.

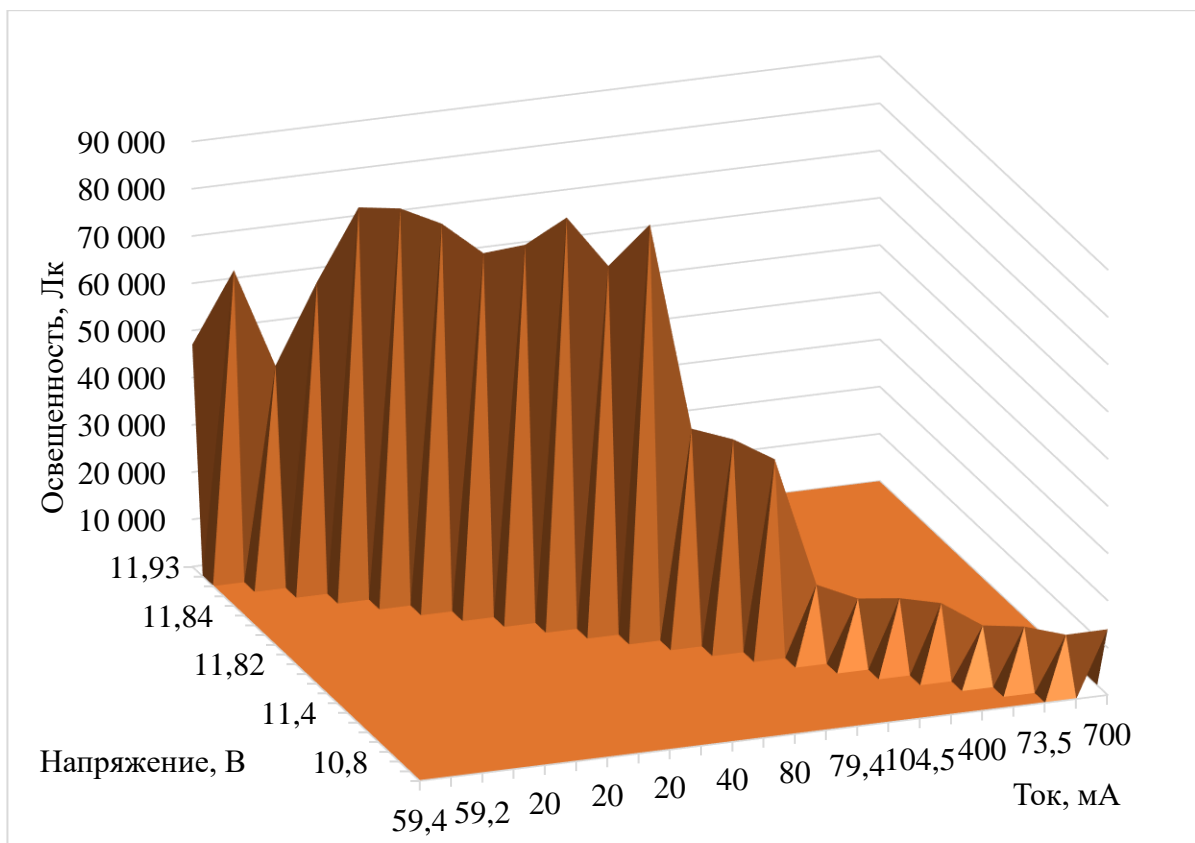


Рисунок 23 – График зависимости напряжения и тока панели от освещенности

В зависимости от разного уровня освещенности, а также от величины нагрузки, значения напряжения, генерируемого солнечной панелью, варьировались от 10 В до 12 В.

3.2 Разработка модуля балансировки напряжения

Для равномерного заряда ионисторов, а также для предотвращения перезаряда необходимо использовать модуль балансировки или стабилизатор напряжения. В данном проекте будет использоваться стабилизатор напряжения

шунтирующего типа [11]. Принципиальная схема устройства показана на рисунке 24.

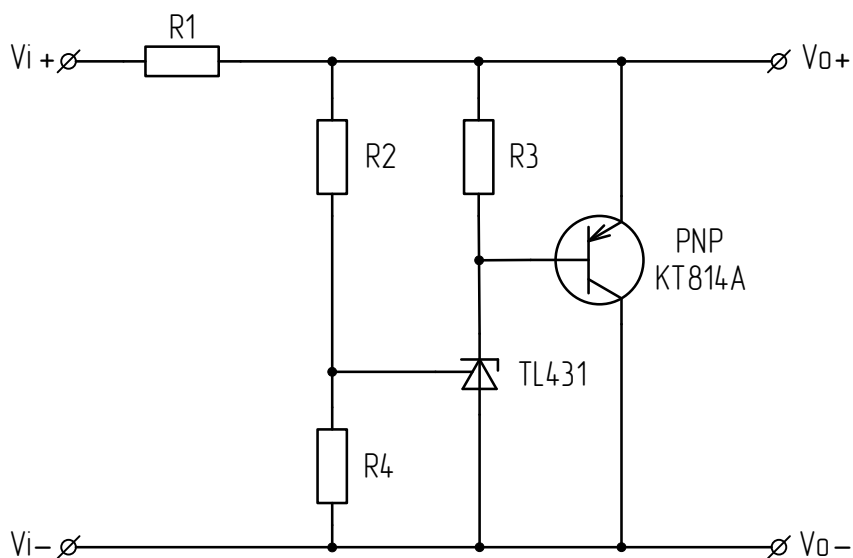


Рисунок 24 – Схема принципиальная стабилизатора

Данная схема взята из datasheet TL431, основана на стабилитроне TL431 и транзисторе KT814A типа p-n-p (рисунок 25) [13]. Ниже представлены технические характеристики данных элементов.

Характеристики TL431:

- напряжение на выходе: от 2,5 до 36 В;
- выходное сопротивление: 0,2 Ом;
- прямой ток: от 1 до 100 мА;
- погрешность: 1%.

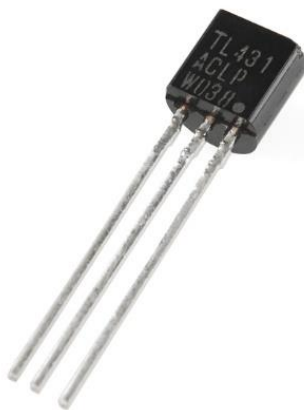


Рисунок 25 – Стабилитрон TL431

Характеристики PNP КТ814А (при температуре окружающей среды 25 °С):

- максимально допустимый постоянный ток коллектора: 1,5 А;
- обратный ток коллектора, не более: 50 мкА;
- максимально допустимый постоянный ток базы: 0,5 А;
- максимальное напряжение между коллектором и эмиттером: 30 В;
- максимально допустимое постоянное напряжение эмиттер-база: 5 В;
- напряжение насыщения между коллектором и эмиттером: 0,6 В;
- рассеиваемая мощность коллектора (используя радиатор): 10 Вт;
- статический коэффициент передачи тока: 40 - 275;
- максимально допустимая температура окружающей среды: от -40 °С до +100 °С;
- максимально допустимая температура перехода: 150 °С.

Транзистор КТ814А представлен на рисунке 26.



Рисунок 26 – Транзистор КТ814А

Ко входам V_{i+} и V_{i-} подключается источник постоянного напряжения с изменяющейся величиной. Ячейка ионистора присоединяется к выходам V_{o+} и V_{o-} [14].

Выходное напряжение V_o рассчитывается по следующей формуле:

$$V_o \approx \left(1 + \frac{R_2}{R_4}\right) \cdot V_{оп}; \quad (10)$$

где $V_{оп}$ – опорное напряжение (V_{REF}), В;

Опорное напряжение для данной модели стабилитрона, исходя из информации в datasheet, равно 2,495 В. Для создания опытного образца будут использоваться ионисторы с рабочим напряжением 2,7 В.

Рассчитаем значения резисторов делителя напряжения по формуле (11).

Значение резистора R2, согласно условиям в таблице 1, учитывая значение опорного тока и опорного напряжения, можно взять номиналом 1000 Ом; значит, выходное значение напряжение будет составлять:

$$2,7 = \left(1 + \frac{1000}{R4}\right) \cdot 2,495; \tag{11}$$

$$R4 = \frac{1000 \cdot 2,495}{2,7 - 2,495} = 12171 \text{ Ом};$$

Получаем сопротивление номиналом 12171 Ом. Согласно ряду E24, выбираем резистор с ближайшим значением сопротивление в 12 кОм. На рисунке 27 представлена схема токов и напряжений.

Таблица 1 – Значение параметров токов и напряжений для TL431

Параметр	Тест. цепь	Тестовые условия	TL431			Ед. изм
			MIN	TYP	MAX	
1	2	3	4	5	6	7
Vref Опорное напряжение	2	VKA=Vref, IKA=10 mA	2470	2495	2550	mV

1	2	3		4	5	6	7
$V_I(\text{dev})$ Отклонение опорного напряжения по полному температурному диапазону	2	$V_{KA}=V_{\text{ref}}, I_{KA}=10 \text{ mA},$ $T_A=\text{полный диапазон}$			5	50	mV
$\Delta V_{\text{ref}}/\Delta V_{KA}$ Отношение изменения опорного напряжения к изменению катодного напряжения	3	$I_{KA}=10$ mA	$\Delta V_{KA}=10V-$ Vref		-1,4	-2,7	mV/ V
			$\Delta V_{KA}=36V-$ 10V		-1	-2	
I_{ref} Опорный ток	3	$I_{KA}=10 \text{ mA} \text{ б } R_1=10\text{k}\Omega,$ $R_2=\infty$			2	4	μA
$I_I(\text{dev})$ Отклонение опорного тока по полному температурному диапазону	3	$I_{KA}=10 \text{ mA} \text{ б } R_1=10\text{k}\Omega,$ $R_2=\infty, T_A=\text{полный}$ диапазон			0,8	2,5	μA
I_{min} Минимальный регулируемый ток катода	2	$V_{KA}=V_{\text{ref}}$			0,4	0,7	mA

1	2	3	4	5	6	7
I _{off} Ток катода в выключенном состоянии	4	V _{KA} =36 V, V _{ref} =0		0,1	0,5	μA
Z _{KA} Динамический импеданс	2	I _{KA} =1 mA - 100 mA, V _{KA} =V _{ref} , f ≤ 1kHz		0,2	0,5	Ω

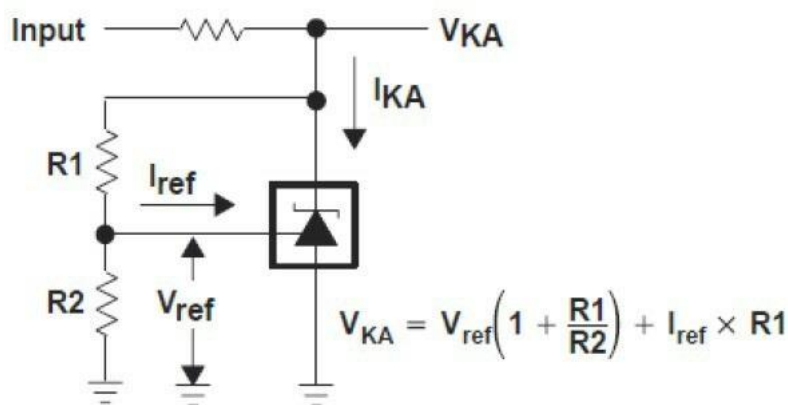


Рисунок 27 – Схема токов и напряжений TL431

Исходя из данной схемы, была построена модель в среде Proteus, которая демонстрирует работоспособность устройства. Модель представлена на рисунках 29, 30 и 31. Здесь видно, что в схеме используется резистор R5 номиналом в 1 Ом, который необходим только для правильной работы симуляции программы, в реальной модели он не нужен. Также в качестве резистора R4 номиналом 12 кОм используется сопротивление в 12171 Ом, это необходимо для большей точности показаний. Для моделирования стабилизатора в Proteus, была выбран аналог КТ814А – транзистор BD160 (рисунок 28), который имеет следующие технические характеристики:

- максимальная рассеиваемая мощность (используя радиатор): 12,5 Вт;

- максимально допустимое напряжение коллектор-база: 45 В;
- максимально допустимое напряжение коллектор-эмиттер: 45 В;
- максимально допустимое напряжение эмиттер-база: 5 В;
- максимальный постоянный ток коллектора: 1,5 А;
- максимально допустимый постоянный ток базы: 0,5 А;
- предельная температура PN-перехода: 150 °С;
- статический коэффициент передачи тока: 40.

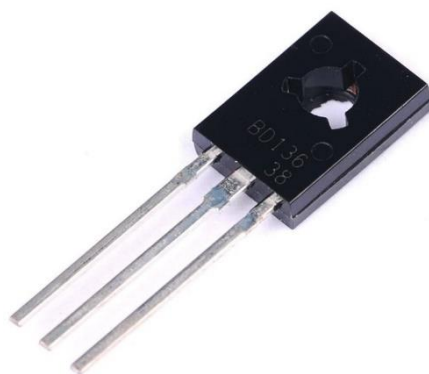


Рисунок 28 – Транзистор BD136

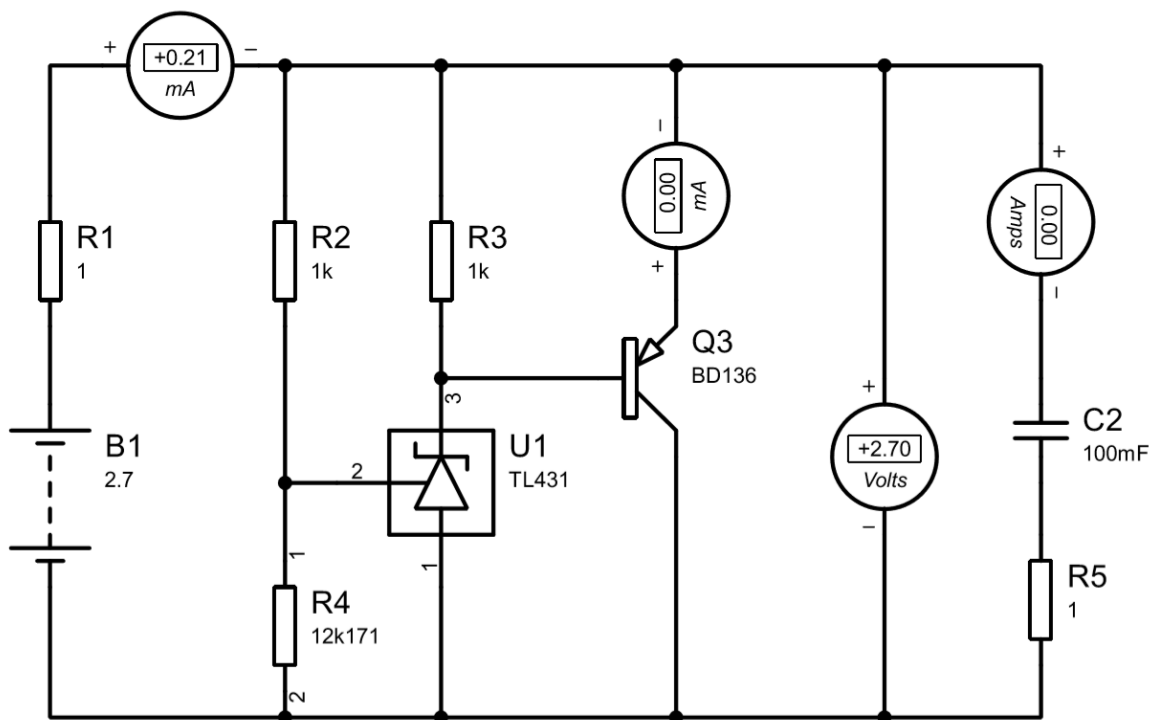


Рисунок 29 – Модель стабилизатора в программе Proteus с источником напряжения 2,7 вольта

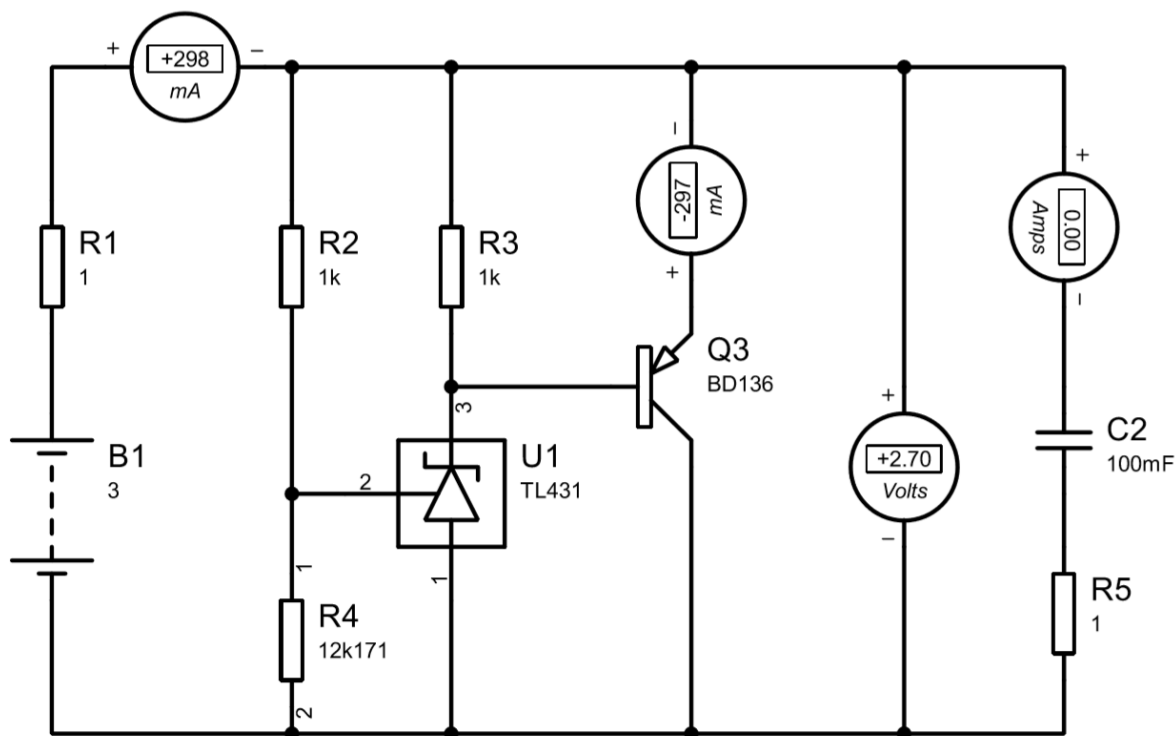


Рисунок 30 – Модель стабилизатора в программе Proteus с источником напряжения 3 вольта

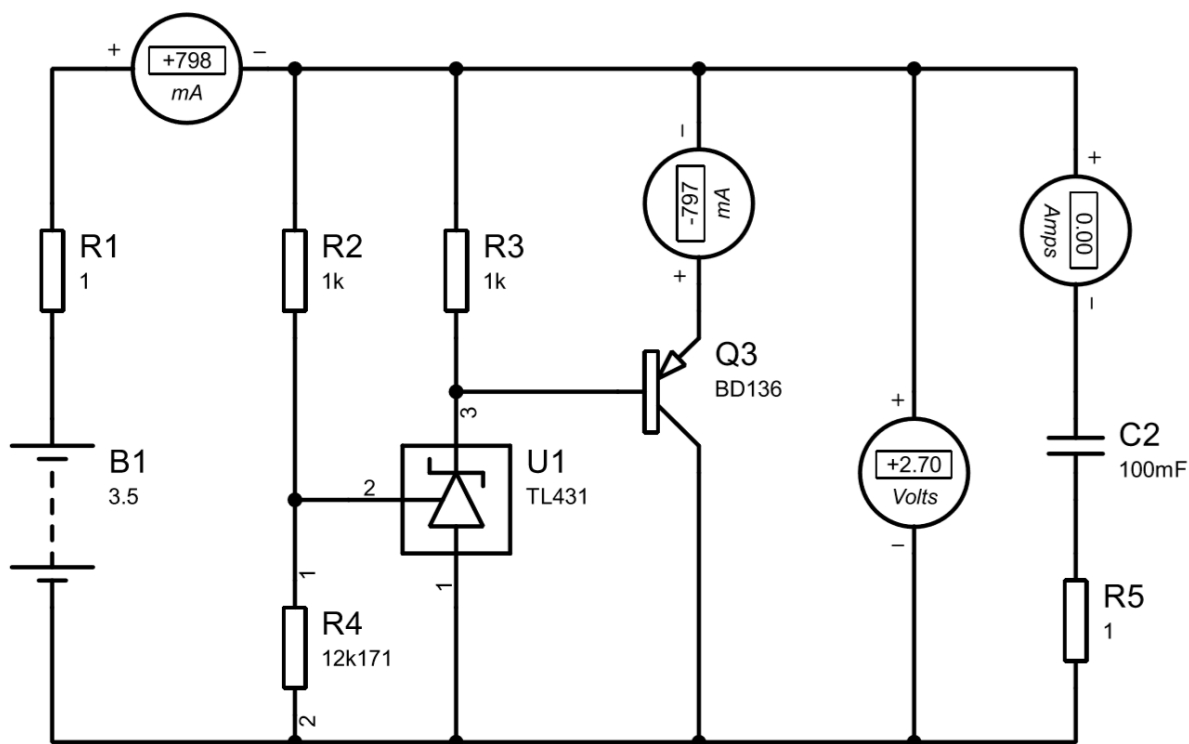


Рисунок 31 – Модель стабилизатора в программе Proteus с источником напряжения 3,5 вольта

На рисунках видно, что напряжение 2,7 В на конденсаторе сохраняется при изменении постоянного напряжения источника с 2,7 до 3,5 В. При напряжении 2,7 В на источнике питания, идущий через транзистор ток равен 0 А, это означает, что стабилизация не нужна. Когда напряжение повышается, значение тока, идущего через транзистор, повышается – напряжение стабилизируется. Таким образом, это доказывает, что схема полностью рабочая.

Также, были произведены измерения в программе Multisim (рисунок 32), и получены соответствующие графики (рисунок 33–34).

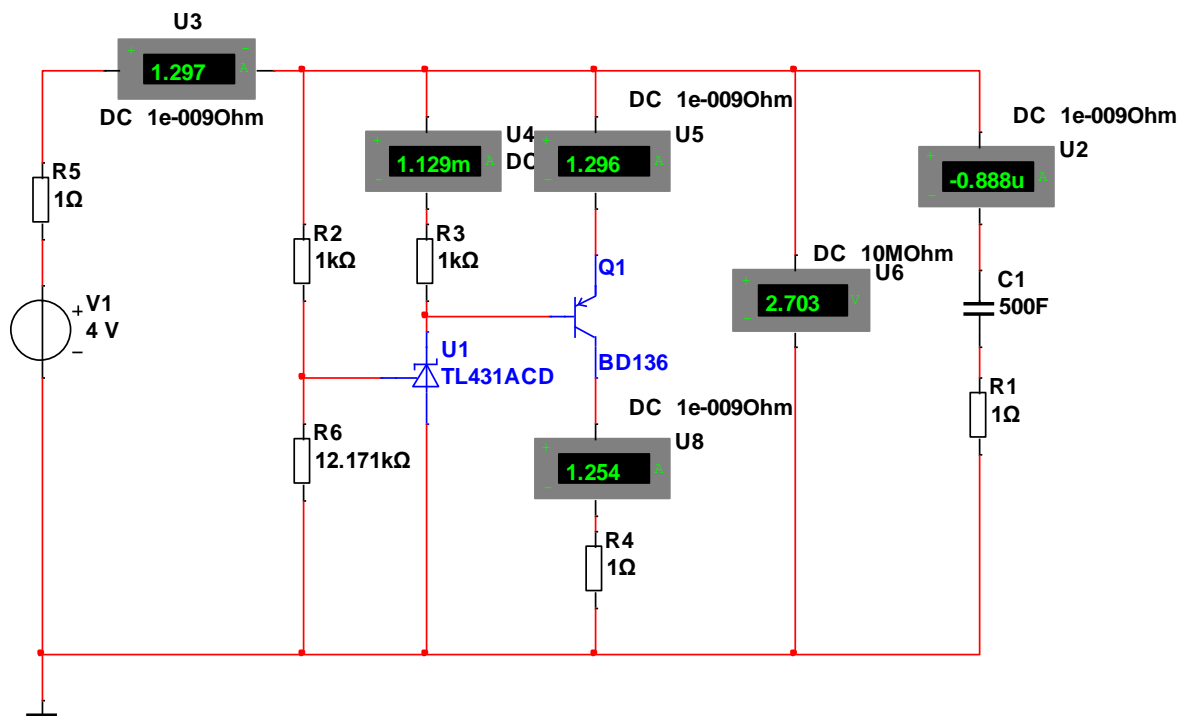


Рисунок 32 – Схема в Multisim

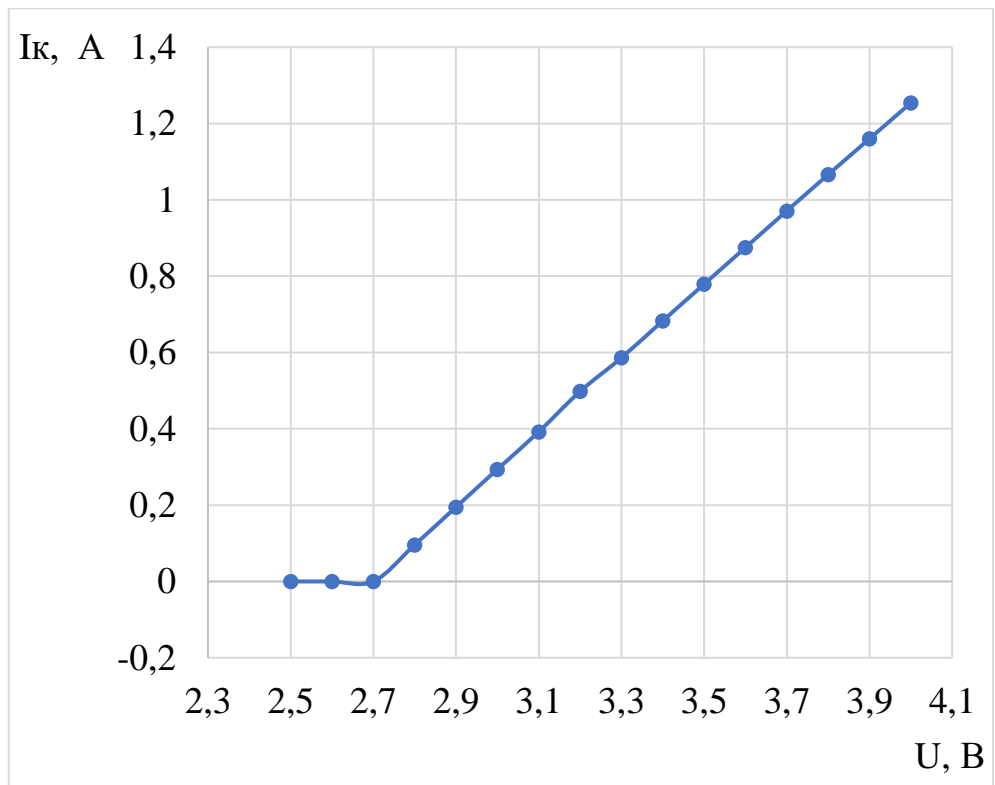


Рисунок 33 – График зависимости тока эмиттера транзистора от напряжения питания

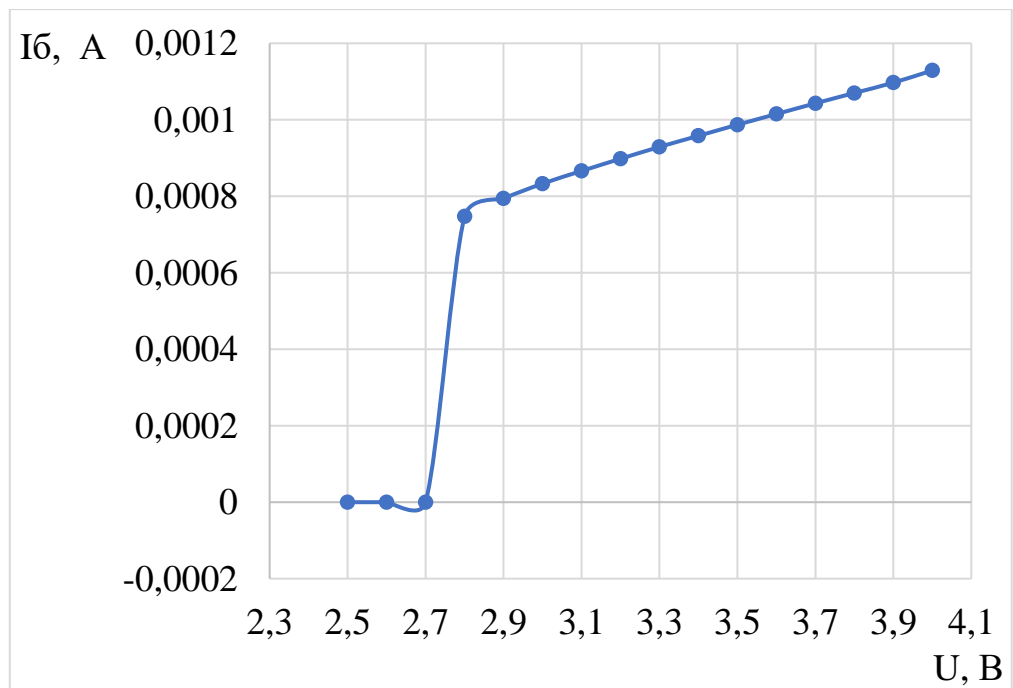


Рисунок 34 – График зависимости тока базы транзистора от напряжения питания

По показаниям графиков (рисунок 33 и 34) видно, что при номинальном значении напряжения заряда 4 В ток коллектора транзистора и ток базы не превышают допустимых значений, установленных производителем, то есть 1,5 А и 0,5 А соответственно. Это означает, что транзистор был выбран правильно. Также были построены выходные вольтамперные характеристики транзистора (рисунок 35).

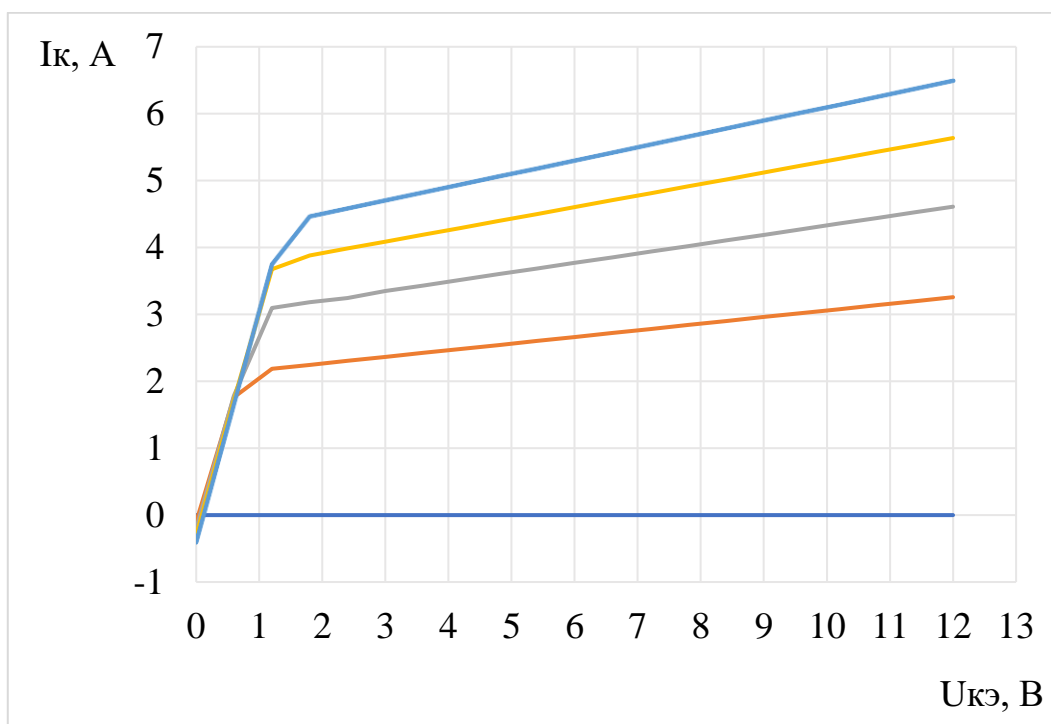


Рисунок 35 – выходные вольтамперные характеристики транзистора
KT814A

Подробные значения, по которым были построены графики, приведены в таблице Б.1 и Б.2 в приложении Б.

3.3 Изготовление платы модуля балансировки напряжения

По схеме (рисунок 29–31) была спроектирована печатная плата модуля балансировки напряжения в программе Proteus (рисунок 36).

Габаритные размеры:

- ширина: 352 мм;
- длина: 298 мм;
- высота: 200 мм;

На рисунке 35 изображен объемный вид платы модуля балансировки напряжения, который также был создан в программе Proteus.

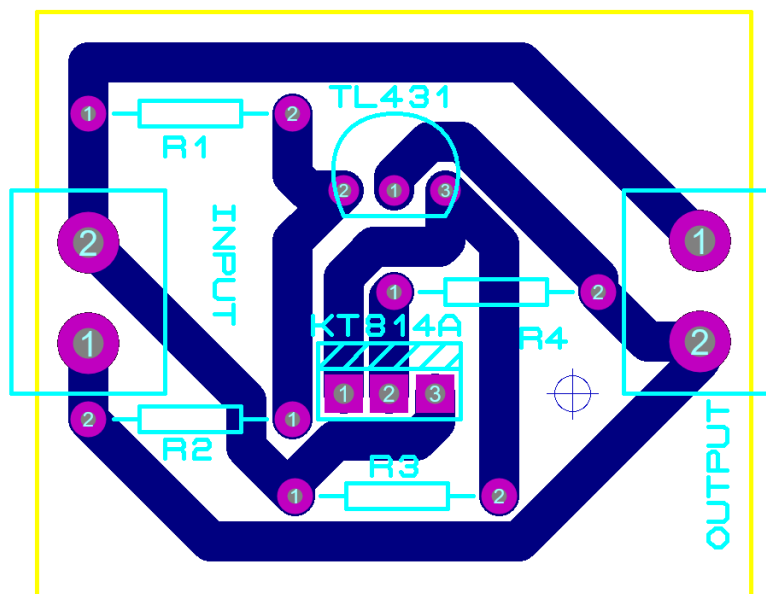


Рисунок 36 – Разводка платы модуля балансировки напряжения

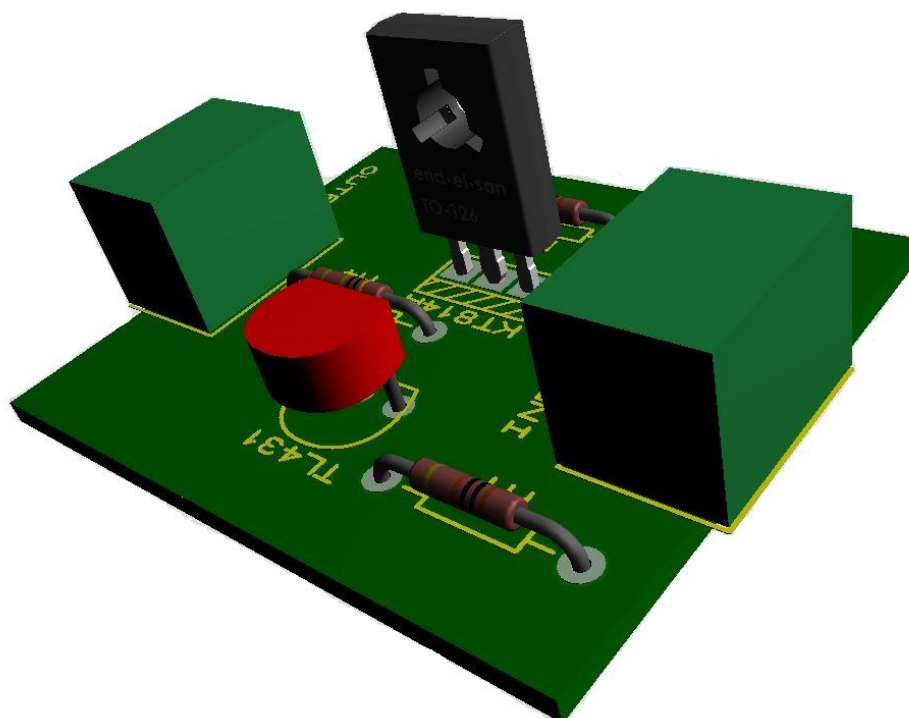


Рисунок 37 – Модуль балансировки 3D модель

Для того, чтобы данную плату можно было напечатать на станке с числовым программным управлением (ЧПУ), необходимо воспользоваться программой CopperCAM.

Эта программа представляет собой набор инструментов, позволяющих создать текстовый файл с алгоритмом на программном языке G-CODE. По данному алгоритму работает станок с ЧПУ, чтобы вырезать плату. То есть, фактически, G-CODE – это инструкции для перемещения режущей части станка.

Программа CopperCAM имеет достаточно много возможностей для изготовления печатных плат:

- 1) Гравировка;
 - а) Гравировка контура дорожек;
 - б) Выборка областей;
 - в) Гравировка выбранных областей;
- 2) Обработка отверстий;
 - а) Сверление как одним, так и несколькими инструментами;
 - б) Расфрезеровка отверстий;
- 3) Обрезка по контуру и выборка окон.

Чтобы импортировать «эскиз» платы в CopperCAM сначала необходимо в программе Proteus сгенерировать файлы Gerber. Для этого во вкладке «Output» нужно нажать на кнопку «Generate Gerber/Excellon files». Далее появится окно, в котором будет предложено провести предварительную проверку проекта на наличие ошибок, здесь стоит нажать на кнопку «Yes», после данной проверки, если нет ошибок, нажимаем кнопку «ОК», появляется окно настроек для генерации файлов (рисунок 38):

- Filestem – первая часть имени файла Gerber, эта настройка автоматически заполняется, исходя из названия проекта;
- Folder – папка на жестком диске компьютера, куда будут сохранены Gerber файлы;
- Output to individual TXT files – создание отдельных файлов Gerber для каждого элемента платы;

- Output to a single ZIP file – создание архива ZIP с файлами Gerber;
- Automatically open output folder – автоматически открывать папку с сохраненными файлами;
- Layers/Artworks – в данном разделе выбираются те элементы платы, Gerber файлы которых нужно создать. В данном случае были выбраны только Bottom copper (нижний слой меди), так как основной слой – нижний. А также Edge – это границы платы. Drill отвечает за отображение областей под сверление, данную настройку тоже нужно включить;
- Gerber format – формат файлов. В данном случае для программы CopperCAM необходимо выбрать формат RS274X.

Остальные настройки, такие как Rotation (вращение горизонтально/вертикально), Reflection (отражение нормально/зеркально), File Units (единицы измерения мм/доли дюйма), Slotting/Routing Layer (деление на слои), Resolution (разрешение) и т. д., можно оставить по умолчанию.

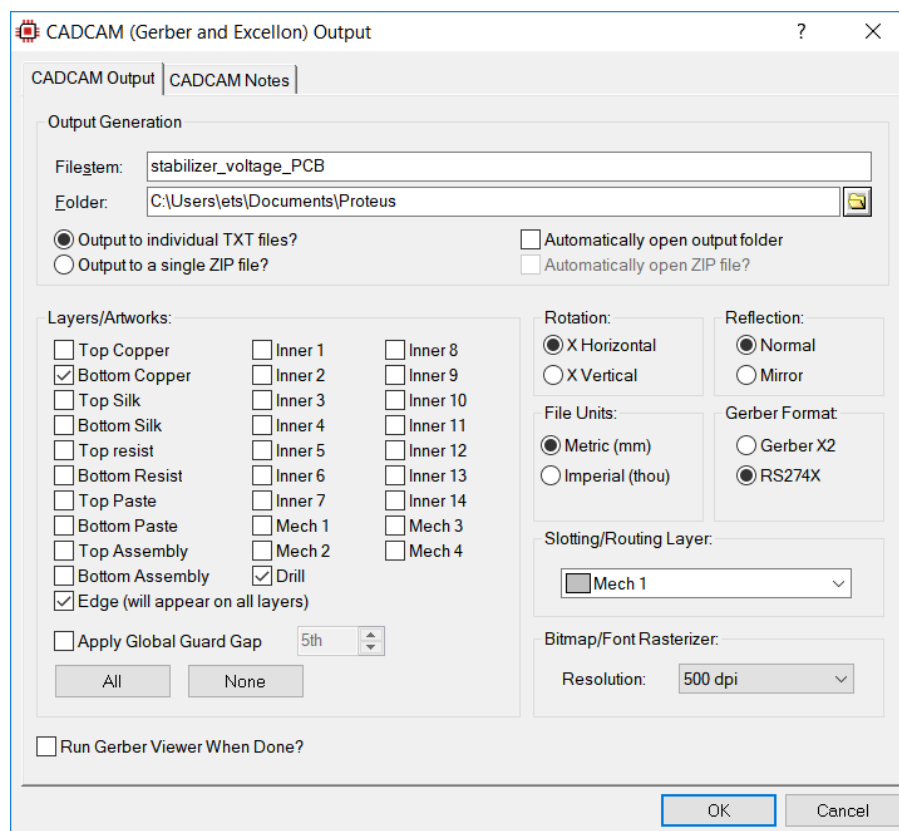


Рисунок 38 – Окно настроек в Proteus для создания файлов Gerber

После нажатия на кнопку «ОК», сгенерируется файл в данном случае с названием «stabilizer_voltage_PCB - CAD/CAM Bottom Copper.GBR». Далее нужно запустить программу CopperCAM, и при первом запуске она предложит открыть файл с «эскизом» платы. Здесь необходимо выбрать файл с расширением «GBR», указанный выше. После этого, окно программы будет выглядеть так, как показано на рисунке 39.

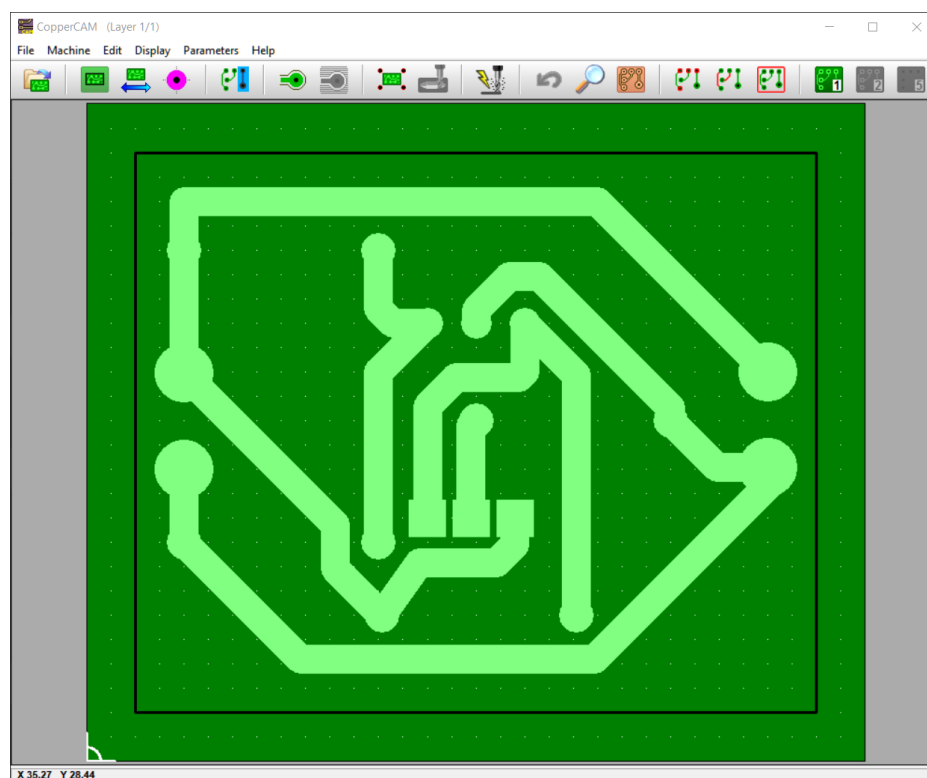


Рисунок 39 – Главное окно программы CopperCAM

Далее, перед созданием файла с G-CODE, необходимо произвести некоторые настройки. Во вкладке «Parameters» выбираем пункт «Tool library» (рисунок 40).

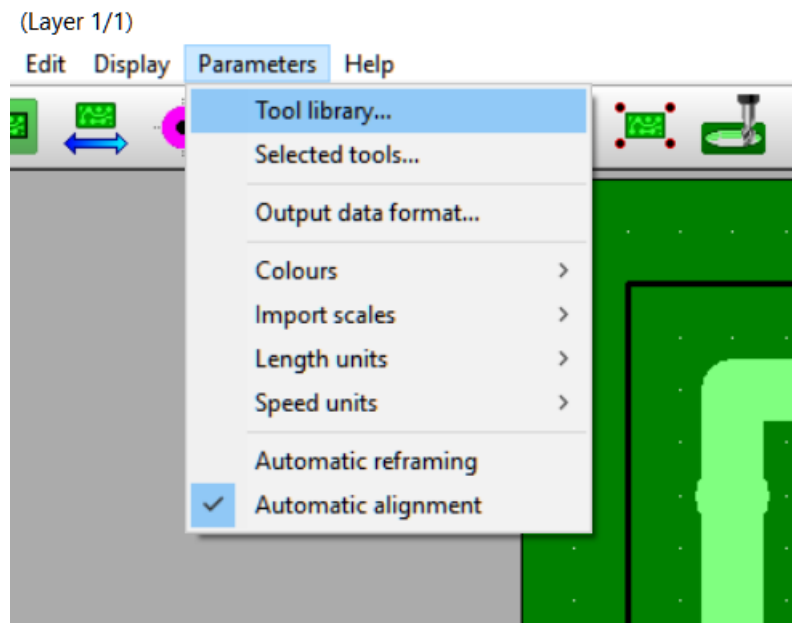


Рисунок 40 – Кнопка настройки инструментов

Здесь следует выбрать инструменты, которыми будет обрабатываться плата:

1) Number – порядковый номер инструмента. Выбирая его, мы сохраняем измененные настройки под данным номером.

2) Name – название инструмента. В данном случае имеются три инструмента: hatches (для снятия большого объема меди), engraving tool (для гравирования или вырезания), drilling tool (для сверления отверстий).

3) Diameter – диаметр хвостовика инструмента.

4) Profile – профиль режущей части инструмента (конический, цилиндрический).

5) Angel – угол режущей части инструмента для конического профиля.

6) Minimum diameter at bottom of cone – диаметр «полочки» для конического инструмента.

7) Rotation – количество оборотов шпинделя в минуту.

8) Plunge speed – подача.

9) Maximum depth per pass – глубина, на которую опустится инструмент за один заход.

Далее на рисунках 41, 42, 43 представлены настройки для трех необходимых инструментов, которыми будет обработана печатная плата для стабилизатора напряжения.

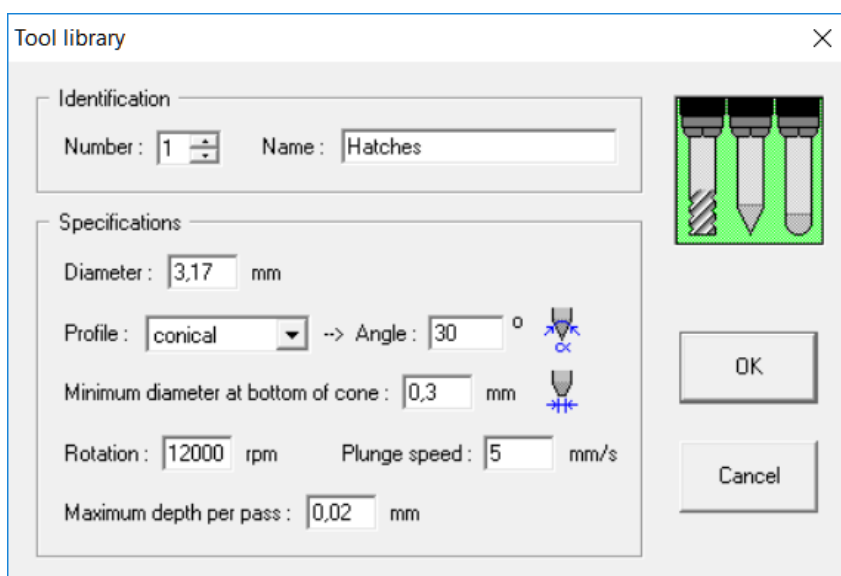


Рисунок 41 – Настройка инструмента Hatches

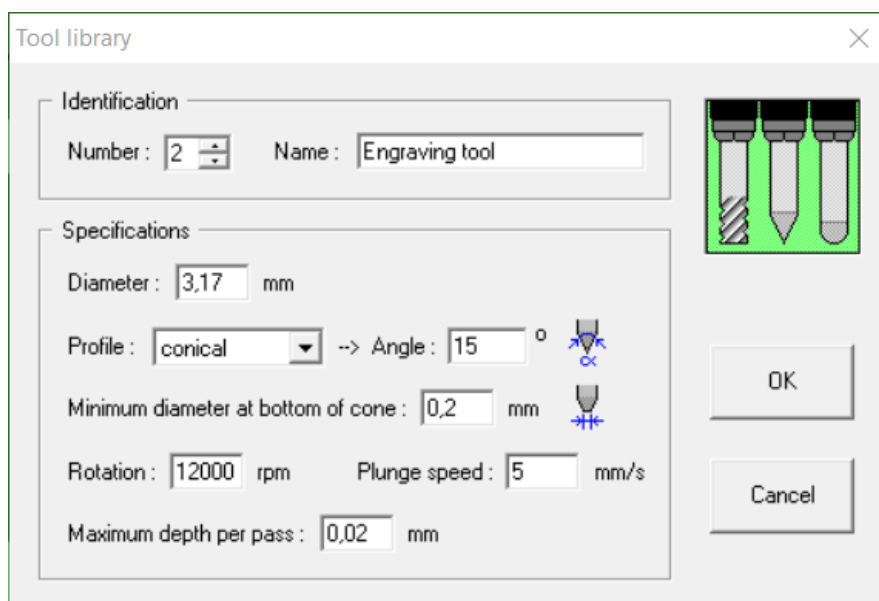


Рисунок 42 – Настройка инструмента Engraving tool

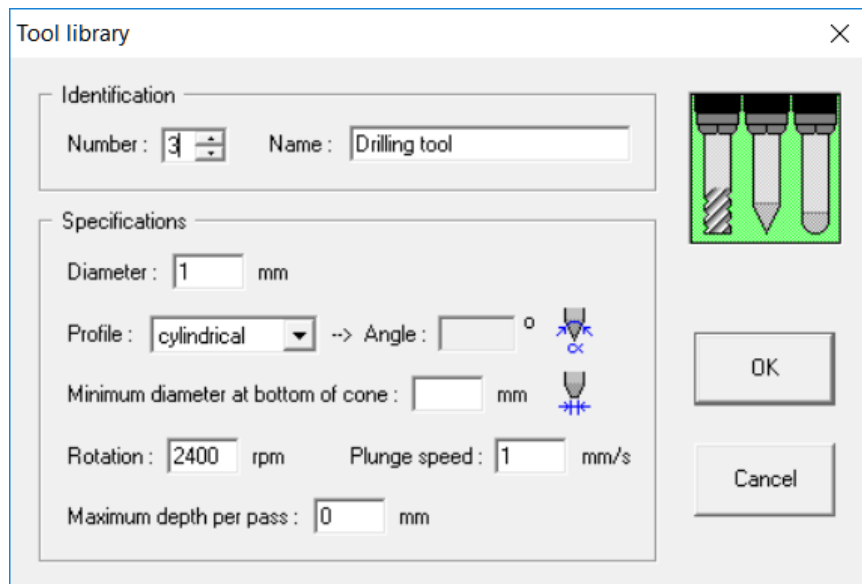


Рисунок 43 – Настройка инструмента Drilling tool

После настройки инструментов, нужно их выбрать, нажав на кнопку «Selection tools» во вкладке «Parameters» (рисунок 44).

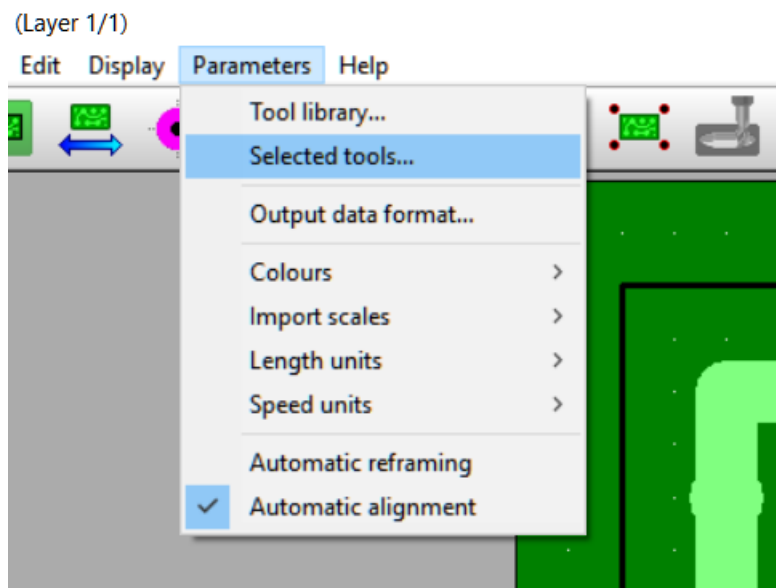


Рисунок 44 – Кнопка выбора инструментов для обработки

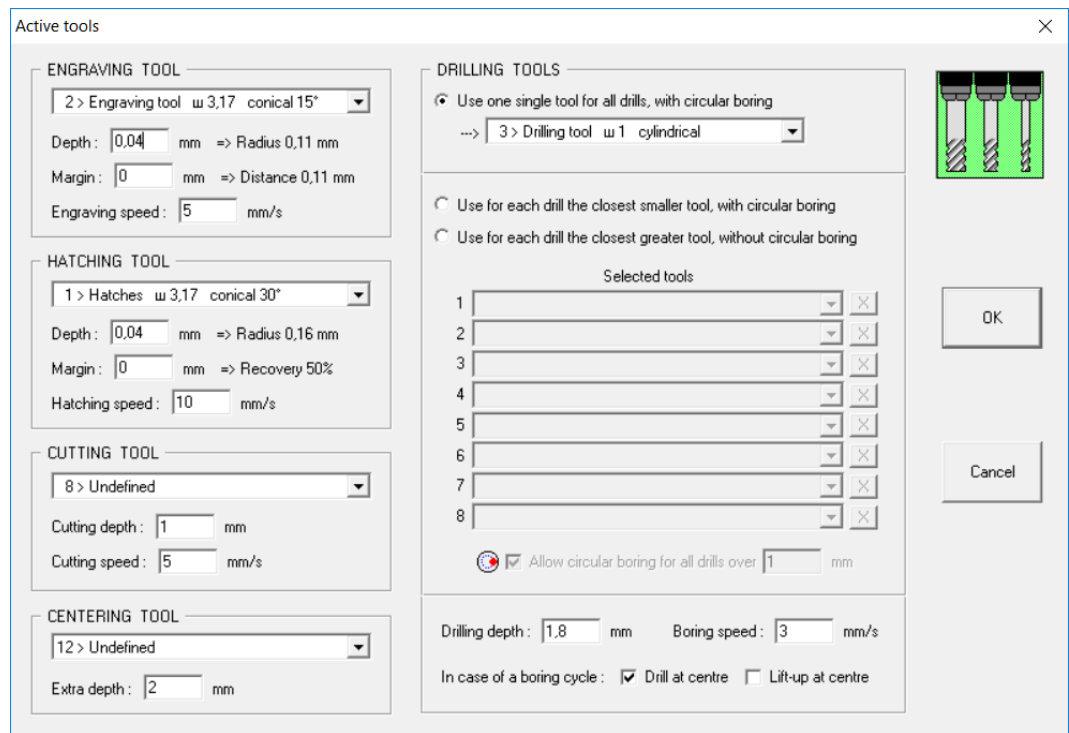


Рисунок 45 – Выбор инструментов и настройка параметров обработки

На рисунке 45 представлено окно выбора средств для разных типов обработки; каждый инструмент имеет свое поле настройки:

ENGRAVING TOOL – инструмент для гравирования. В данном случае будет использоваться гравер, настроенный под порядковым номером 2 (рисунок 42). **Depth** – глубина гравирования; здесь же, в зависимости от угла режущей части гравера, автоматически рассчитывается радиус обработки контуров дорожек (**Radius**). **Margin** – это припуск, то есть точность обработки. **Engraving speed** – подача, то есть расстояние, которое будет обработано за секунду.

HATCHING TOOL – инструмент, которым будут сниматься большие площади меди. Для этого инструмента параметры обработки аналогичны параметрам инструмента для гравирования (**engraving tool**), за исключением того, что значение подачи можно выставить больше. Здесь будет выбран инструмент под номером 1 (рисунок 41).

CUTTING TOOL – выбор средства для предания формы печатной плате. В данном проекте оно не используется.

CENTRING TOOL – средство для создания центровочных отверстий. В данном проекте оно тоже не используется.

DRILLING TOOL – инструмент для сверления, то есть сверло. В данном случае будет выбрано сверло, настроенное под номером 3 (рисунок 43). В этом же поле можно включить функцию «use one single tool for all drills, with circular boring», то есть использовать одно и то же сверло для всех отверстий, применяя круговую расточку.

В следующем поле есть возможность включить функции «use for each drills the closest smaller tool, with circular boring» и «use for each drills the closest greater tool, with circular boring», что переводится как «использовать для каждого сверла ближайший меньший инструмент, с круговой расточкой» и «использовать для каждого сверла ближайший большой инструмент, с круговой расточкой» соответственно, но для данного проекта эти функции включать не требуется.

В последнем поле имеются такие настройки как глубина сверления (drilling depth) и скорость расточки (boring speed). В данном случае выбрана глубина 1,8 мм и скорость расточки 3 мм/с.

После того как все инструменты обработки настроены, можно приступить к настройке самой печатной платы, то есть добавить отверстия, где они необходимы, а также установить ширину контуров обработки вокруг дорожек (рисунок 46). Далее во вкладке «Machine» нужно нажать кнопку «Mill» (рисунок 47), после чего появится окно, в котором можно настроить параметры генерации управляющего кода (рисунок 48). Все данные настройки можно оставить по умолчанию, указав только место сохранения сгенерированного файла с G-CODE. Кликнув по кнопке «ОК», создастся управляющий код формата G-CODE.

Этот код затем открывается в официальной программе, с которой работает станок с числовым программным управлением, на рабочий стол помещается заготовка из текстолита определенных размеров, и можно начать процесс обработки печатной платы.

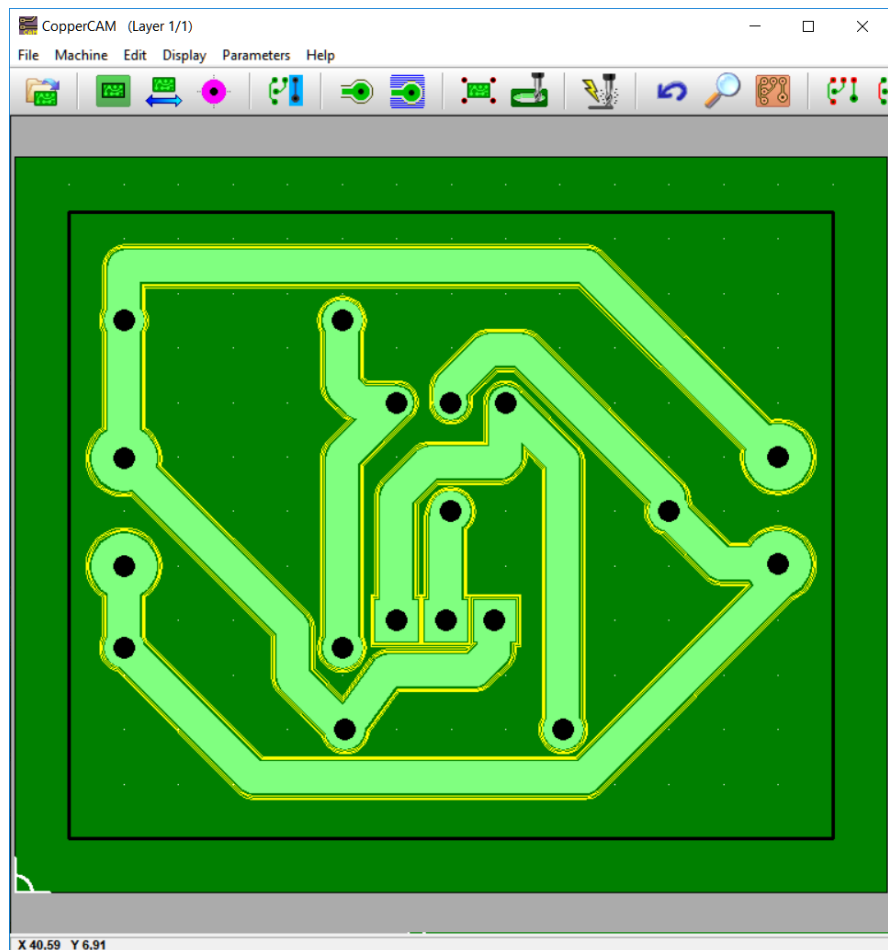


Рисунок 46 – Окончательный вид печатной платы

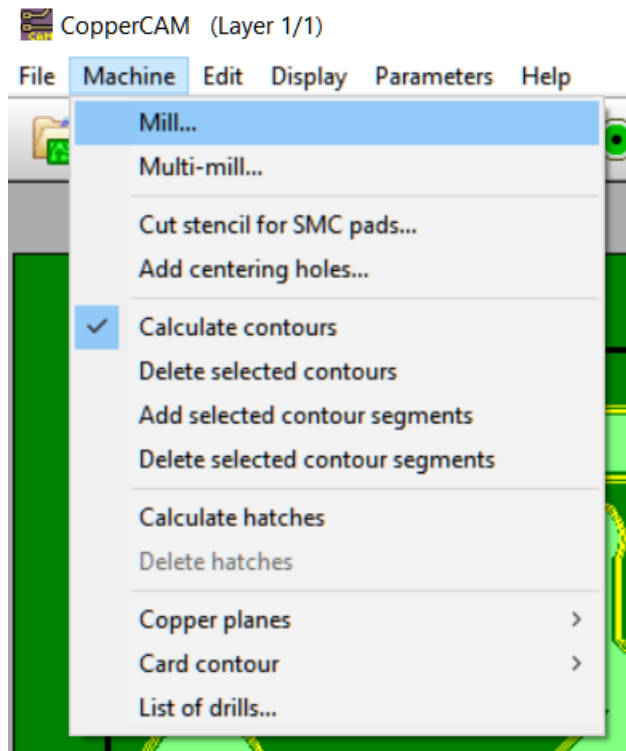


Рисунок 47 – Кнопка вызова окна для генерации кода

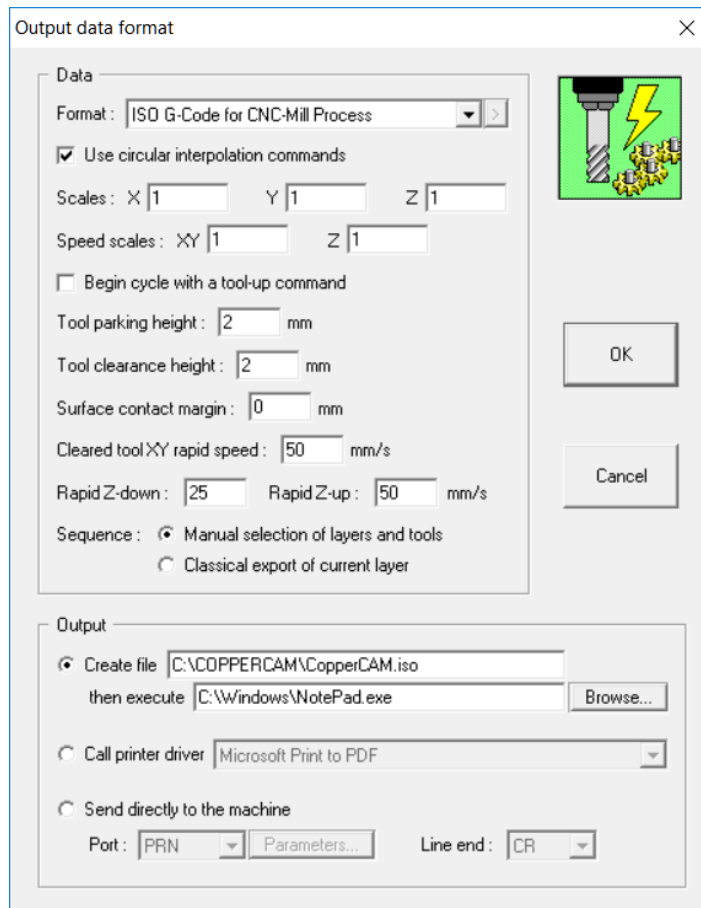


Рисунок 48 – Окно генерации кода

После обработки печатаная плата модуля балансировки будет выглядеть, как показано на рисунке 49.

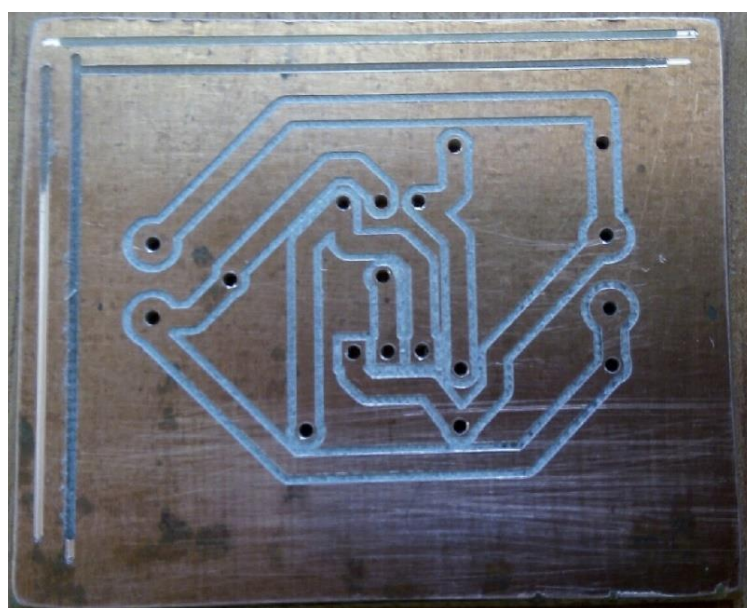


Рисунок 49 – Обработанная на станке печатная плата

Получившуюся печатную плату нужно залудить путем нанесения олова на дорожки, это обеспечит создание более качественной электрической цепи между впаянными в будущем элементами, а также упростит их монтаж в плату (рисунок 50).

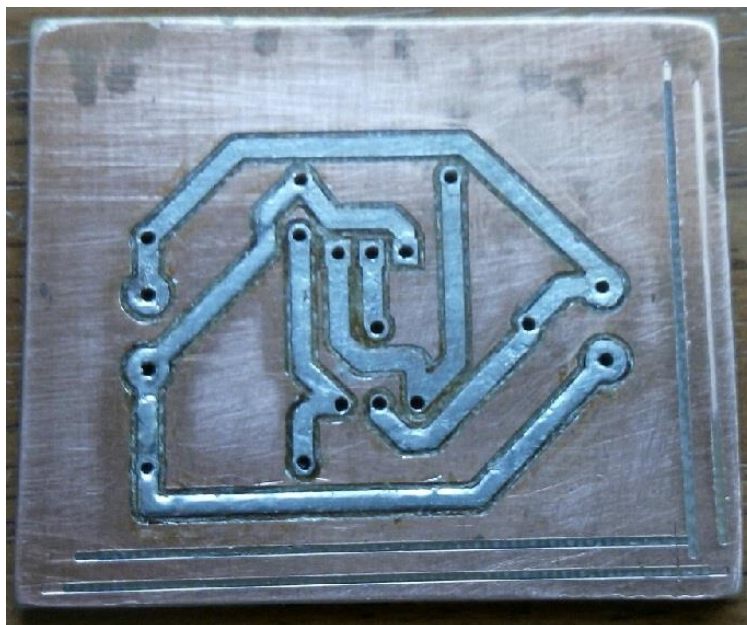


Рисунок 50 – Луженая плата модуля балансировки

После создания печатной платы было решено заменить рассчитанные резисторы R1, R2, R4 на резисторы с переменным сопротивлением (потенциометры), для более гибкой настройки параметров, а также для возможности глубокого исследования процессов стабилизации напряжения. Таким образом, на рисунке 51 показаны изменения в принципиальной схеме печатной платы. Добавлены потенциометры RV1, RV2, RV2. В целях удобной ссылки номера резисторов не были изменены.

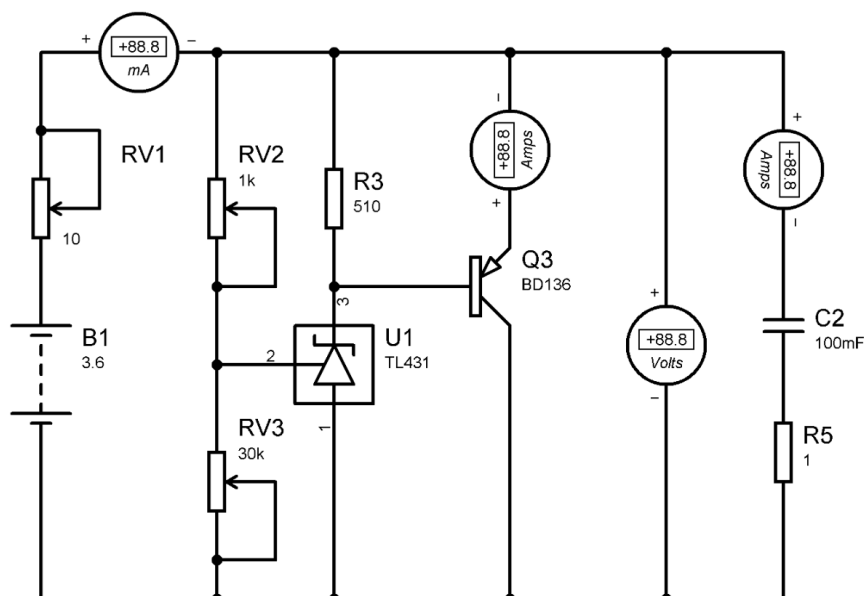


Рисунок 51 – Измененная схема печатной платы

После припаивания нужных компонентов, монтажа всего необходимого оборудования на деревянное основание, получается стенд для исследования стабилизатора напряжения на нагрузке (рисунок 52).

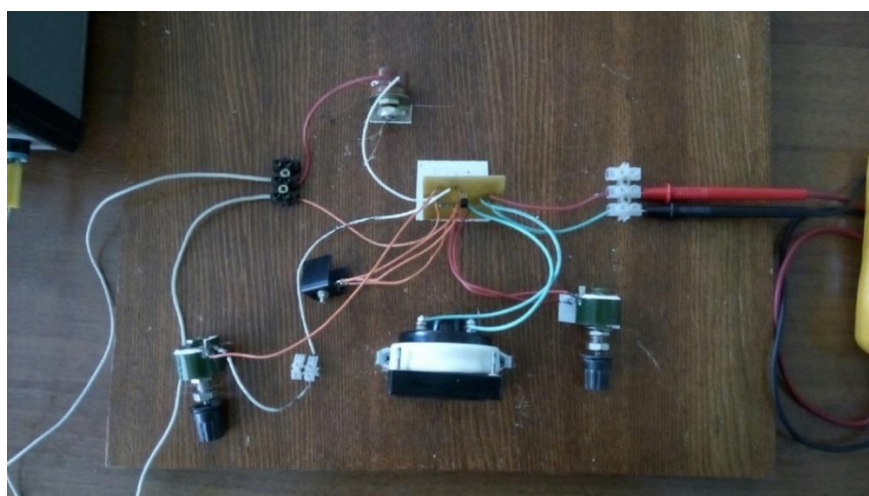


Рисунок 52 – Стенд для исследования стабилизатора напряжения

С помощью данного стенда было проведено несколько экспериментов по стабилизации напряжения на выходе с подключенной нагрузкой и без. Устройство полностью рабочее и удовлетворяет всем ранее заданным параметрам. Напряжение на входе менялось в пределах от 2,6 В до 4 В, при этом напряжение на выходе не превышало 2,7 В, что и требовалось получить. Результаты исследований приведены в приложении В.

3.4 Исследование фотоэлектрической установки

После покупки необходимого оборудования, а именно контроллера и инвертора, был собран стенд, включающий в себя все элементы фотоэлектрической системы, кроме фотоэлектрической батареи и нагрузки (рисунок 53). Этот стенд необходим для удобного перемещения всего оборудования установки.

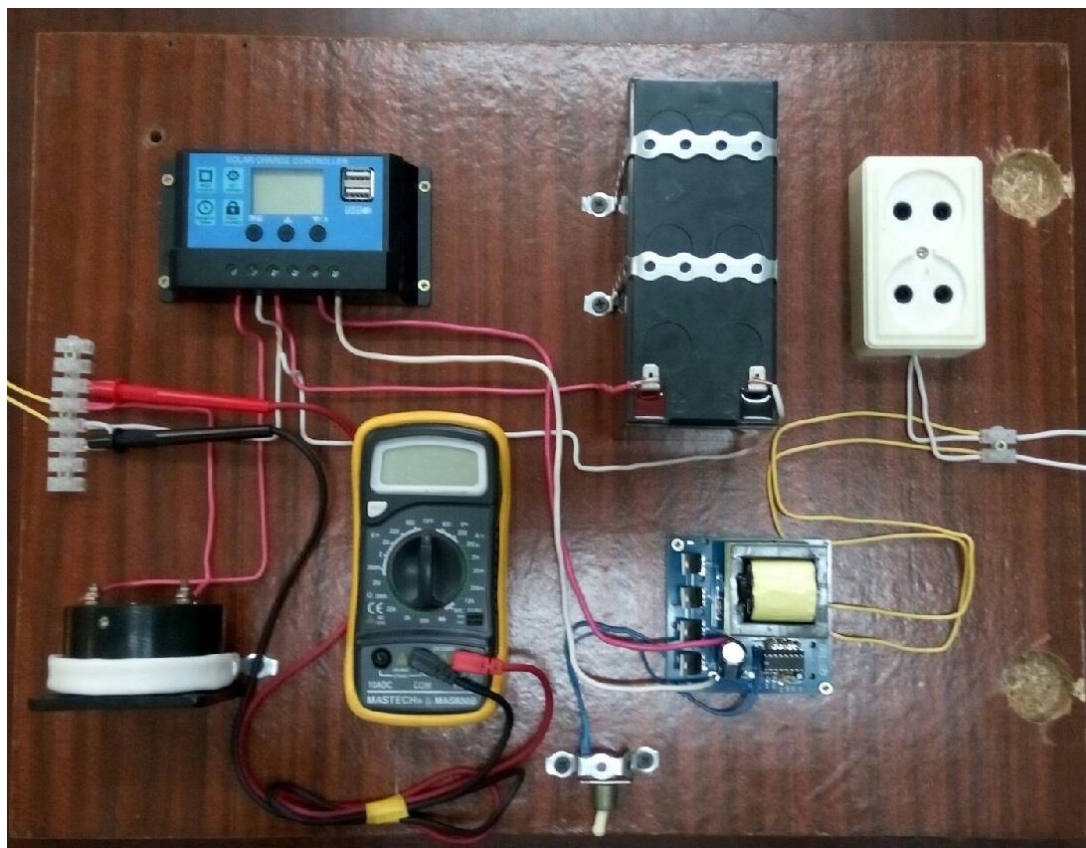


Рисунок 53 – Стенд с основными узлами фотоэлектрической системы (кроме солнечной батареи)

В качестве накопителя использовался аккумулятор 12 В, это было сделано для того, чтобы понять, как работает контроллер в нормальном режиме, то есть с аккумулятором.

Для удобного подключения солнечной батареи имеется клеммная колодка с восемью парами клемм (для удобного подключения щупов вольтметра, использую перемычки), такая же колодка для подключения нагрузки, а также двойная розетка тоже для подключения нагрузки.

Исследования проводились на улице. Для начала были сняты характеристики солнечной панели, то есть ток и напряжение (рисунок 54). Полученные значения электрических характеристик приведены в таблице А.1 в приложении А.



Рисунок 54 – Снятие характеристик солнечной панели

Затем к солнечной панели подключалось остальное необходимое оборудование, установленное на стенде (рисунок 55).

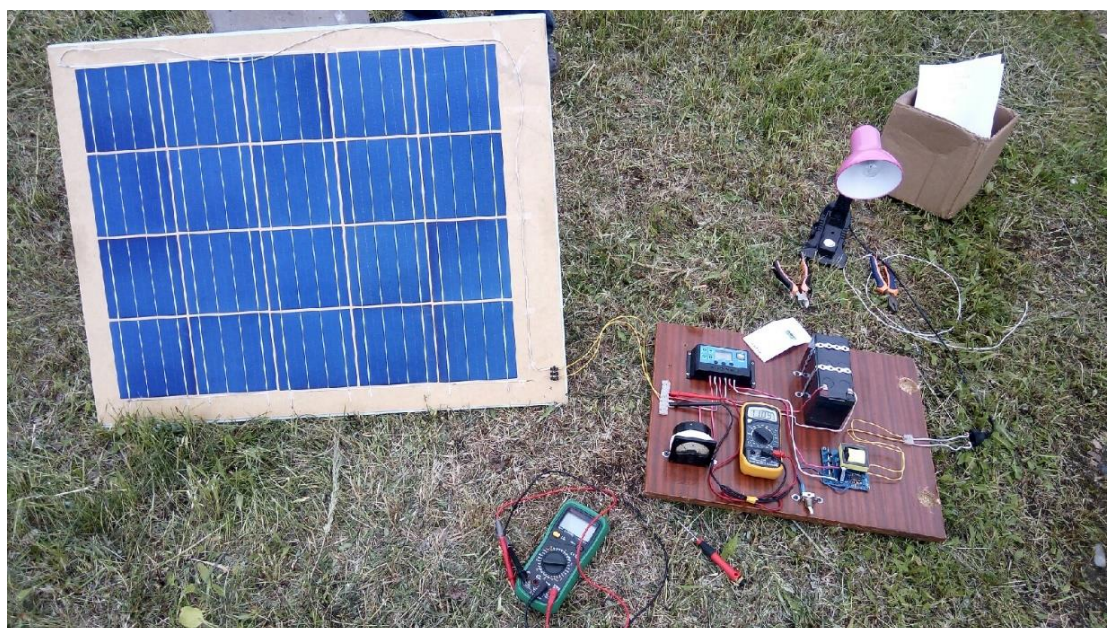


Рисунок 55 – Исследование фотоэлектрической системы с аккумулятором в качестве накопителя

Эксперименты дали понять, что все оборудование работает так, как надо. Контроллер выключает процесс заряда аккумулятора, когда на аккумуляторе значение напряжения ниже порогового (10 В), и включает при значении в 11,5 В. Также контроллер управляет нагрузкой, отключая ее при недостаточном заряде, и включая ее вновь при заряженном аккумуляторе. В качестве нагрузки использовалась лампа накаливания 30 Вт, которая светило довольно ярко при питании от аккумулятора, но немного тусклее при питании напрямую от солнечной батареи. В итоге выяснилось, что напряжение солнечной батареи хватает не полностью для нормальной работы всей системы. Необходимо добавить еще ряд фотоэлементов.

4 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

4.1 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 цепи 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.

4.1.1 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 (12).

$$I = \frac{P}{U}; \quad (12)$$

где P – суммарная мощность всех электроприборов, Вт;

U – напряжение сети, В.

В данном случае автоматический выключатель будет установлен на линии сети 220 вольт, то есть на выходе инвертора. На рисунке 56 автоматический выключатель обозначен как АВ.

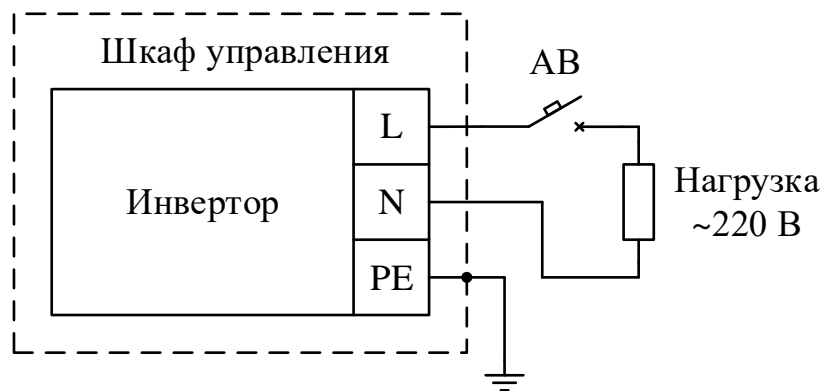


Рисунок 56 – Подключение автоматического выключателя

Нагрузка, на которую рассчитана фотоэлектрическая система, составляет 20 Вт ± 5 Вт. Можно произвести расчеты, подставив значения в формулу 12:

$$I = \frac{25}{220} = 0,113 \text{ А}; \quad (13)$$

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 57). Класс срабатывания – К, данный класс предполагает выключение АВ при превышении номинального тока нагрузки в 12 раз. Так как проводка выдерживает токи до 16 А, такой класс срабатывания вполне допустим.



Рисунок 57 – Автоматический выключатель АВВ

4.1.2 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 58.

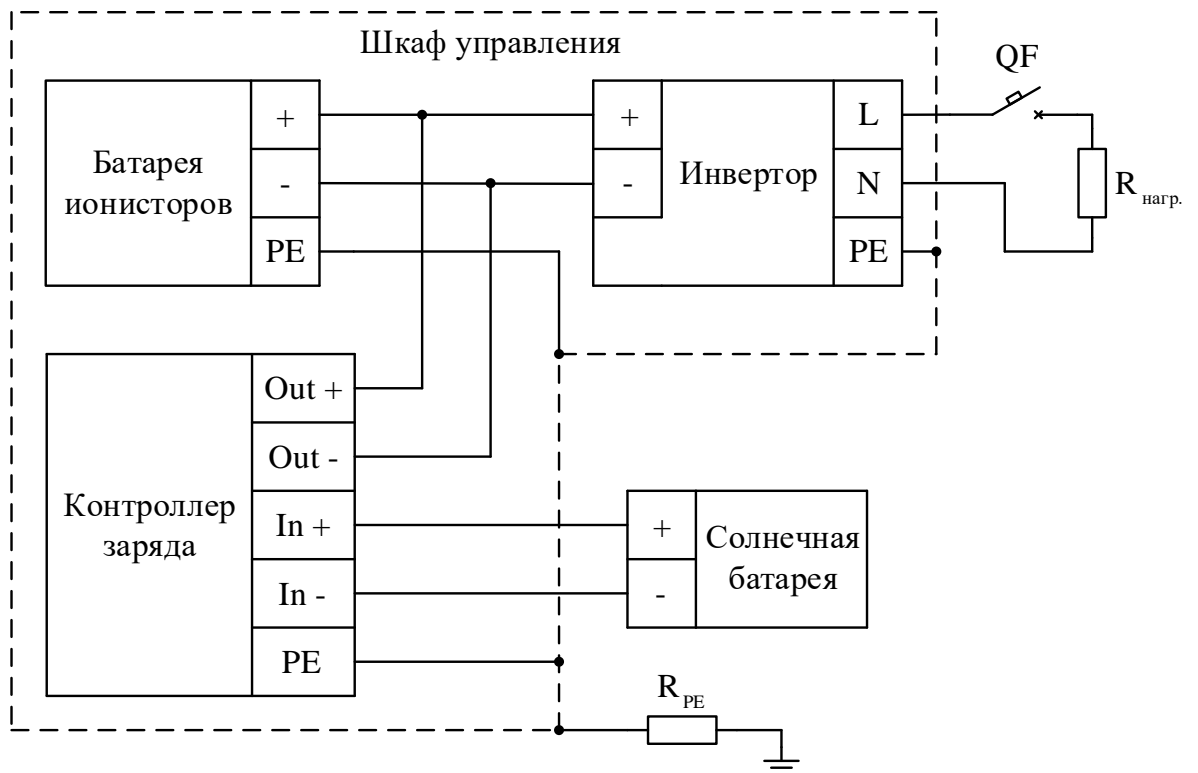


Рисунок 58 – Схема подключения оборудования к заземлению

Согласно структурной схеме (рисунок 58), корпуса всего оборудования будут соединены со шкафом управления. Сам же шкаф подсоединяется к общей шине заземления в лаборатории, которая, в свою очередь, глухозаземлена.

4.2 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 [15].

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 пределах 10 – 18 вольт, что является относительно безопасным напряжением, и

в случае прикосновения к проводам, случайно оказавшимися 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.

4.3 Чрезвычайные ситуации

4.3.1 Пожар

Согласно нормам пожарной безопасности, в лаборатории, где установлен шкаф с оборудованием фотоэлектрической установки, в доступном месте располагается рабочий порошковый огнетушитель для борьбы со случаями возгорания электрооборудования. Также, в лаборатории имеются датчики дыма и пожарная сигнализация. Отсутствуют легко воспламеняемые предметы, или расположены в отдельном небольшом помещении, где исключено их возгорание. Имеется щит с общим рубильником, отключающий все электрооборудование в лаборатории.

В случае пожарной эвакуации двери лаборатории не блокируются, к выходу имеется свободный доступ, в открытом состоянии дверной проем имеет ширину около 1,5 м, что достаточно для полного покидания рабочего персонала. В помещении находится план эвакуации в случае пожара. Рядом с лабораторией находится кнопка пожарной сигнализации.

Ответственность за пожарную безопасность несет руководитель. Он должен:

- Обеспечить соблюдение установленного противопожарного режима и следить за содержанием путей эвакуации;
- Следить за исправностью приборов отопления, вентиляции, электроустановок, технологического оборудования и принимать немедленные меры к устранению обнаруженных неисправностей, могущих привести к пожару;

– Следить за тем, чтобы после окончания работы и занятий проводилась уборка рабочих мест и помещений, отключалась электросеть, за исключением дежурного освещения и электроустановок, которые по условиям технологического процесса производства должны работать круглосуточно;

– Обеспечить исправное содержание и постоянную готовность к действию имеющихся средств и установок пожаротушения, связи и сигнализации [16].

В случае пожара на данной установке требуется:

1) Отключить питание нагрузки, путем выключения автоматического выключателя;

2) Использовать порошковый огнетушитель, который расположен в помещении рядом с узлами фотоэлектрической системы.

4.3.2 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.

4.3.3 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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной бакалаврской работе было произведено сравнение достоинств и недостатков ионисторов и аккумуляторов, также было определено преимущество в использовании ионисторов в системах с фотоэлектрическими источниками постоянного тока. Произведены расчеты по выбору ионисторов для применения в данной системе.

Спроектирован модуль стабилизации напряжения, для этого рассчитаны все необходимые элементы, а также была собрана модель стабилизирующего устройства в программе Proteus. Кроме того, была разведена печатная плата данного устройства.

Рассмотрены различные типы контроллеров заряда, описаны преимущества и методы работы каждого из приведенных. Был выбран контроллер, оптимально подходящий для использования в системе зарядки ионисторной батареи.

Также, были проведены исследования работ стабилизатора напряжения и всей фотоэлектрической системы в целом. Доказано, что можно использовать ионисторы вместо аккумуляторов в фотоэлектрических системах с контроллером заряда, управляя зарядом и разрядом на небольшом участке вольтамперных характеристик суперконденсаторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Wikipedia.org: электронная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> – 23.09.2018.
2. Phoenix ultracap: фирма, специализирующаяся на продаже суперконденсаторов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ultracapacitor.ru/stati/ionistori/> – 05.11.2018.
3. Catalogue Samwha electric – 2016 [Электронный источник]. – Режим доступа: https://www.ibselectronics.com/ibsstore/datasheet/Others/catalogue_samwha_electric.pdf – 26.01.2019.
4. 220v.guru: Про электрику простым языком [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://220v.guru/vse-ob-elektroenergii/ionistor-chto-eto-takoe-i-gde-ego-primenyayut.html> – 27.01.2019.
5. Шурыгина, В. А. Суперконденсаторы. Помощники или возможные конкуренты батарейным источникам питания / В. А. Шурыгина // Электроника: Наука, Технологии, Бизнес. – 2003. – № 3. – С. 20-24.
6. AliExpress: он-лайн магазин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.aliexpress.com/item/500-W-DC-12-V-16-V-AC-18-V-0-220V-380V/32983715091.html> – 06.02.2019.
7. AliExpress: он-лайн магазин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.aliexpress.com/item/2-7-V-500F-6-1/32846851251.html> – 12.02.2019.
8. AliExpress: он-лайн магазин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.aliexpress.com/item/1-2-7-500F-35-60/32964856635.html> – 22.01.2019.
9. Tiu.ru: он-лайн магазин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tiu.ru/p397315116-156mm-polycrystallie-solnechnaya.html> – 11.03.2019.
10. Solarhome.ru: Сайт фирма «Ваш солнечный дом» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.solarhome.ru/control/mppt>. – 17.02.2019

11. Методы балансировки напряжений суперконденсаторных элементов / Ю.Ю. Разуваев [и др.]. ОАО Воронежское специальное конструкторское бюро «Рикон», 2013. – С. 101-105.

12. AliExpress: он-лайн магазин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.aliexpress.com/item/10A-20A-30A-12V-24V-Auto-work-PWM-Solar-Charge-Controller-with-LCD-Dual-USB-5V/32818868189.html> – 24.04.2019.

13. ST life.augmented, TL431, TL432 – 2017 [Электронный источник]. – Режим доступа: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/tl431.pdf> – 15.03.19.

14. Агупов, В.В. Особенности активной балансировки напряжений суперконденсаторов / В.В. Агупов [и др.]. // Вестник Воронежского государственного технического университета. – Воронеж, 2011. – № 10. – С. 85-88.

15. Обзор суперконденсаторов Boostcap [Электронный источник]. – Режим доступа: <https://www.titanps.ru/files/obzor-superkondensatorov-maxwell.pdf> – 26.01.2019.

16. ППБ-С-1983 Правила пожарной безопасности при эксплуатации зданий и сооружений учебных заведений, предприятий, учреждений и организаций системы Минвуза СССР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200096620> – 16.06.2019.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Электрические характеристики солнечной панели

Таблица А.1 – Значения электрических характеристик солнечной панели, полученные в ходе исследования

R=397Ом			R=143Ом		
U, В	I, мА	L, Лк	U, В	I, мА	L, Лк
11,84	20	64000	11,73	79,4	40000
11,82	20	75000	11,8	80	44000
11,82	20	78000	11,76	79,6	43000
11,83	20	80000	10,7	72,7	11500
11,84	20	81000	10,8	73,5	12000
11,84	20	82000	R=103Ом		
11,82	20	85000	11,2	104,5	13000
11,8	20	86000	10,82	100,5	11000
R=287Ом			R=56,5Ом		
11,82	40	76000	11,4	190	14700
R=193Ом			R=27Ом		
11,9	59,2	64000	11,18	400	14300
11,95	59,5	50000	11,14	400	14500
11,93	59,4	47000	R=15Ом		
11,89	59,2	45000	10,5	700	13900

Здесь R – сопротивление нагрузки;

U – напряжение, генерируемое солнечной панелью;

I – ток, выдаваемый солнечной панелью;

L – освещенность.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Вольтамперные характеристики транзистора

Таблица Б.1 – Зависимость тока эмиттера транзистора от напряжения питания

U, В	I _к , А	I _б , А
2,5	0	0
2,6	0	0
2,7	0	0
2,8	0,096	0,000747
2,9	0,195	0,000794
3	0,294	0,000833
3,1	0,392	0,000866
3,2	0,498	0,000898
3,3	0,586	0,000929
3,4	0,683	0,000958
3,5	0,779	0,000987
3,6	0,875	0,001015
3,7	0,971	0,001043
3,8	1,066	0,00107
3,9	1,16	0,001097
4	1,254	0,001129

Здесь U – напряжение питания, подаваемое на транзисторе;

I_к – ток коллектора;

I_б – ток базы транзистора.

Продолжение Приложения Б

Таблица Б.2 – Выходные вольтамперные характеристики транзистора

U	I1	I2	I3	I4	I5
0	0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4
0,6	2E-12	1,763	1,783	1,727	1,654
1,2	4,3E-12	2,188	3,097	3,673	3,746
1,8	6,7E-12	2,246	3,180	3,881	4,461
2,4	9,8E-12	2,306	3,246	3,984	4,580
3	1,36E-11	2,365	3,349	4,087	4,699
3,6	1,84E-11	2,425	3,433	4,191	4,818
4,2	2,42E-11	2,484	3,517	4,294	4,937
4,8	3,1E-11	2,544	3,602	4,397	5,056
5,4	3,97E-11	2,603	3,686	4,500	5,175
6	4,67E-11	2,663	3,769	4,604	5,294
6,6	5,54E-11	2,722	3,853	4,707	5,413
7,2	6,48E-11	2,781	3,937	4,810	5,532
7,8	7,49E-11	2,841	4,021	4,913	5,651
8,4	8,56E-11	2,900	4,106	5,017	5,770
9	9,66E-11	2,960	4,190	5,120	5,889
9,6	1,086E-10	3,019	4,274	5,223	6,008
10,2	1,203E-10	3,079	4,358	5,326	6,127
10,8	1,328E-10	3,138	4,442	5,430	6,246
11,4	1,459E-10	3,198	4,526	5,533	6,365
12	1,583E-10	3,257	4,610	5,636	6,484

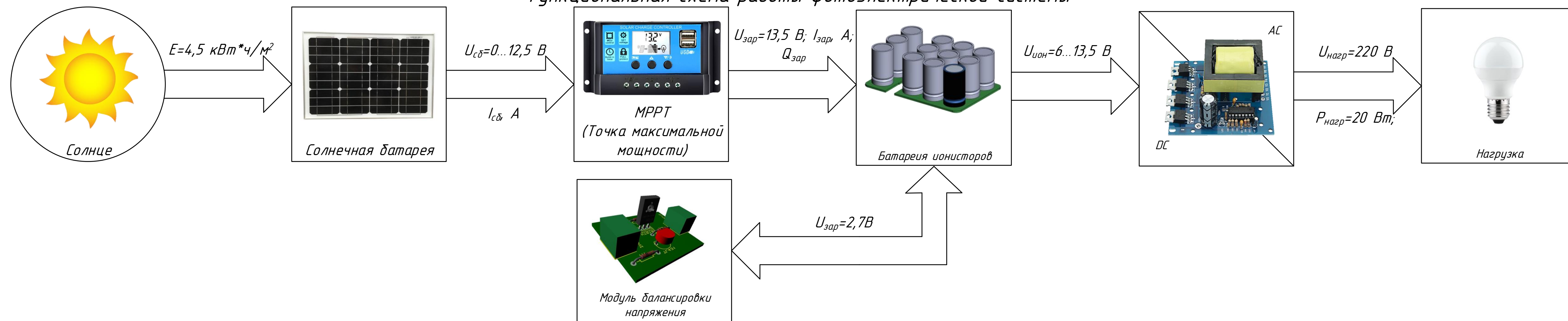
ПРИЛОЖЕНИЕ В

Результаты исследований стабилизатора напряжения

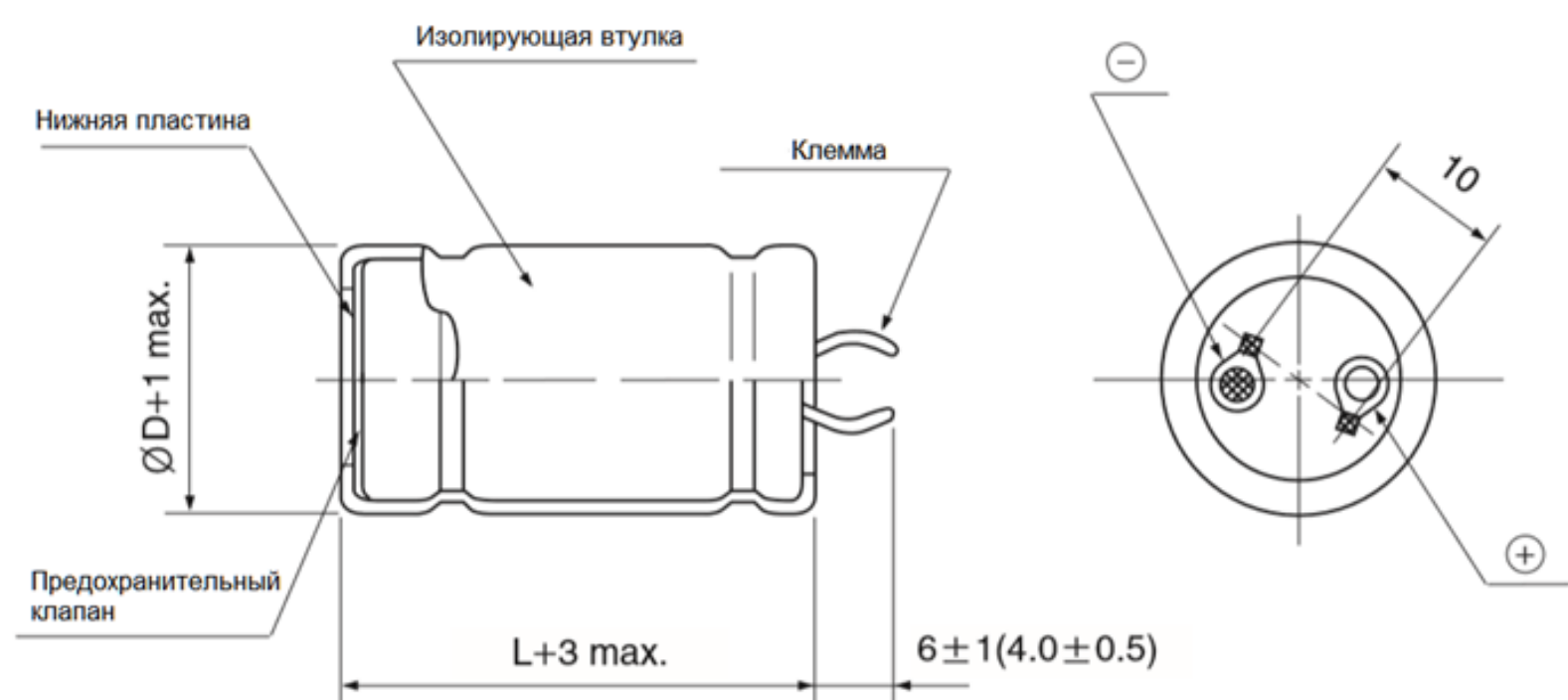
Таблица В.1 – Результаты исследований стабилизатора напряжения

RV1=5 Ом				RV1=3 Ом				RV1=10 Ом			
RV2=100 Ом				RV1=344 Ом				RV1=344 Ом			
RV3=28 кОм				RV3=10 кОм				RV3=10 кОм			
U _{ВХ} , В	I _к , А	I _{ВХ} , А	U _{ВЫХ} , В	U _{ВХ} , В	I _к , А	I _{ВХ} , А	U _{ВЫХ} , В	U _{ВХ} , В	I _к , А	I _{ВХ} , А	U _{ВЫХ} , В
2,6	0	0	2,6	2,6	0	0	2,6	2,6	0	0	2,6
2,7	0,01	0,01	2,62	2,7	0,02	0,02	2,62	2,7	0,01	0,01	2,62
2,8	0,03	0,03	2,63	2,8	0,05	0,06	2,63	2,8	0,015	0,02	2,62
2,9	0,05	0,05	2,64	2,9	0,09	0,1	2,64	2,9	0,02	0,03	2,63
3	0,064	0,07	2,64	3	0,12	0,13	2,65	3	0,04	0,04	2,63
3,1	0,085	0,09	2,65	3,1	0,15	0,16	2,66	3,1	0,04	0,05	2,63
3,2	0,1	0,11	2,65	3,2	0,18	0,19	2,66	3,2	0,05	0,06	2,63
3,3	0,12	0,13	2,66	3,3	0,21	0,22	2,67	3,3	0,06	0,07	2,63
3,4	0,14	0,15	2,66	3,4	0,25	0,26	2,68	3,4	0,07	0,08	2,64
3,5	0,17	0,18	2,67	3,5	0,27	0,29	2,68	3,5	0,08	0,09	2,64
3,6	0,18	0,19	2,67					3,6	0,09	0,1	2,64
3,7	0,192	0,2	2,68					3,7	0,1	0,11	2,64
3,8	0,22	0,24	2,69					3,8	0,11	0,12	2,65
3,9	0,23	0,24	2,69					3,9	0,12	0,13	2,65
4	0,25	0,26	2,69					4	0,13	0,14	2,65

Функциональная схема работы фотоэлектрической системы



Накопители энергии



Устройство ионистора



Ионистор



Батарея ионисторов



Фотоэлектрическая батарея



Элемент фотоэлектрической батареи

Фотоэлектрическая батарея

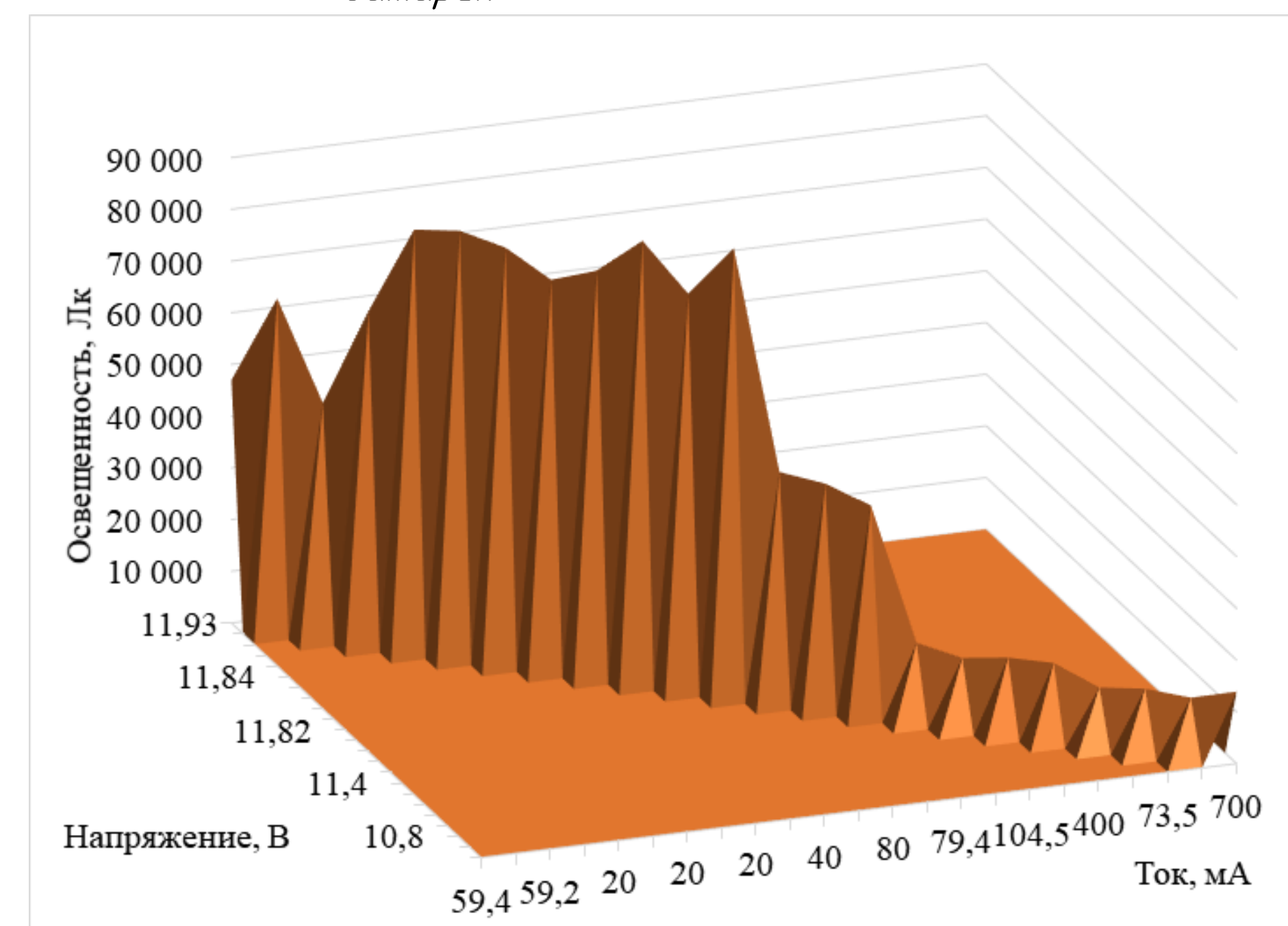
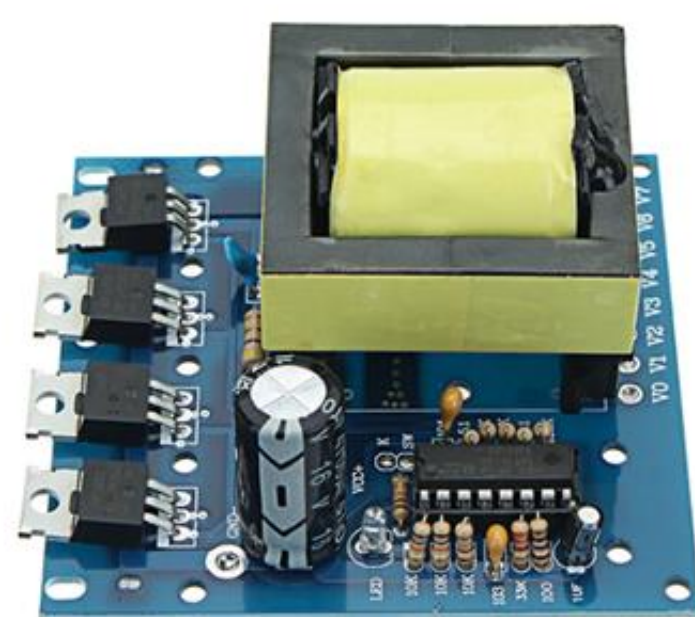
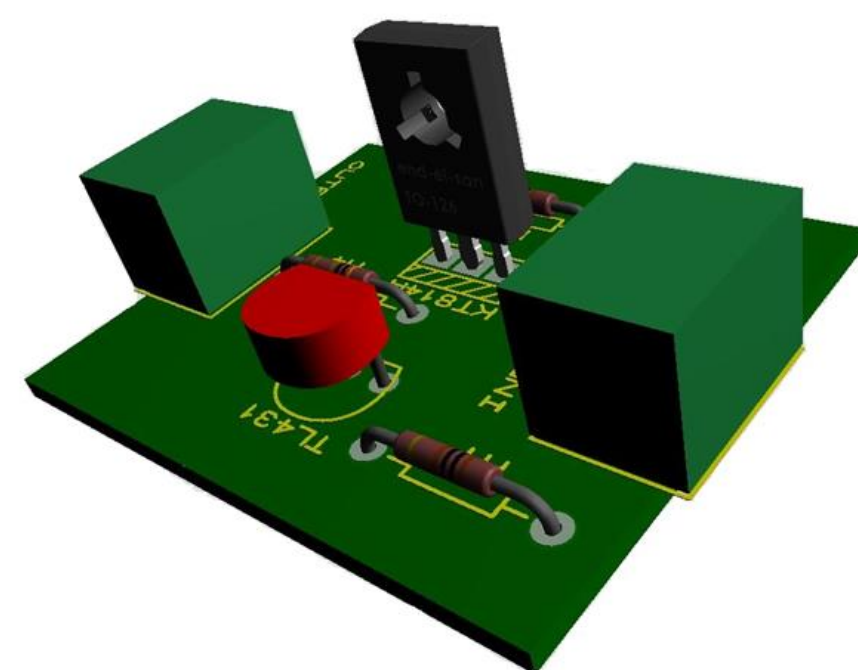


График зависимости тока и напряжения фотоэлектрической батареи от освещенности

Преобразователь напряжения DC 12 В – AC 220 В



Стабилизатор напряжения



Контроллеры заряда



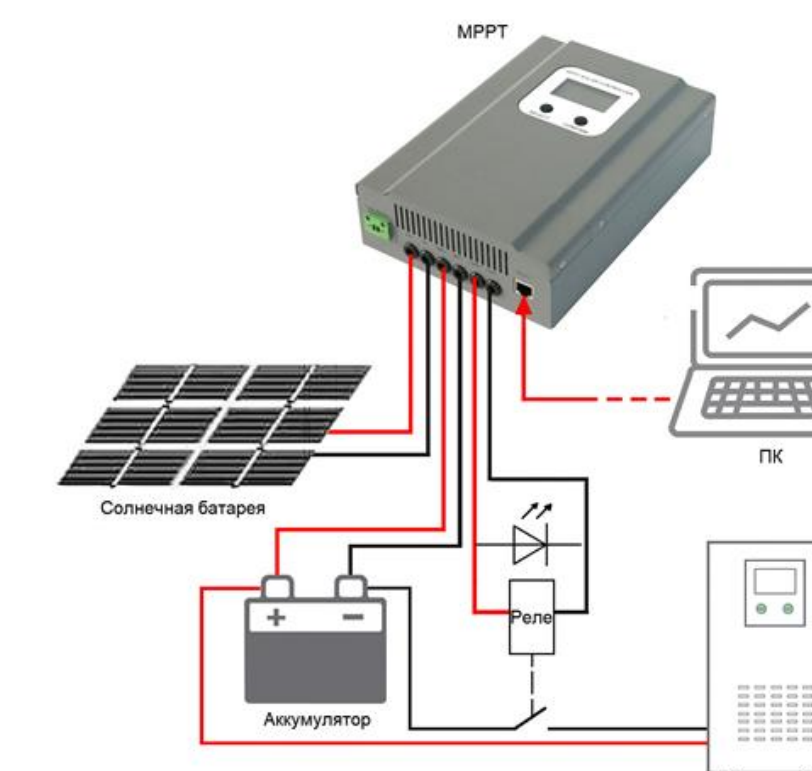
MPPT-Контроллер заряда



ШИМ-контроллер заряда



Выбранный контроллер заряда (ШИМ)



Стандартная схема подключения периферии к контроллеру

					ВКР 150304.154.013.П/1		
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата	Литера	Масса	Масштаб
					У		
Разработал		Макаров Н. А.					
Проверил		Усанко В. И.					
Т. контроль		Усанко В. И.			Лист 1	Листов 6	
Н. контроль		Скрипко О. В.			Автоматизированная система управления зарядом ионисторной батареи от фотоэлектрической установки		
Утвердил		Скрипко О. В.			АМГУ гр. 5410б		

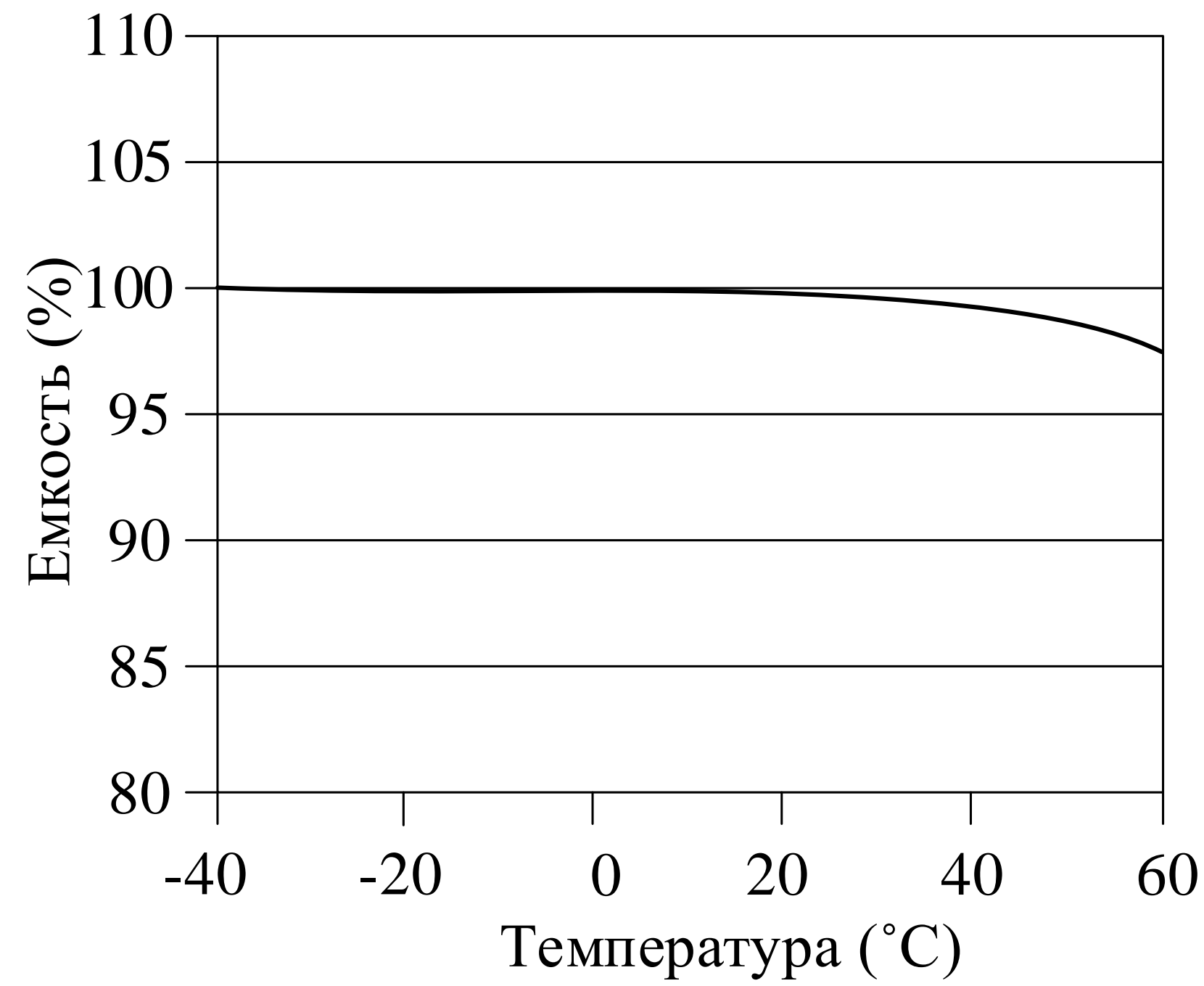


График зависимости емкости ионистора от температуры

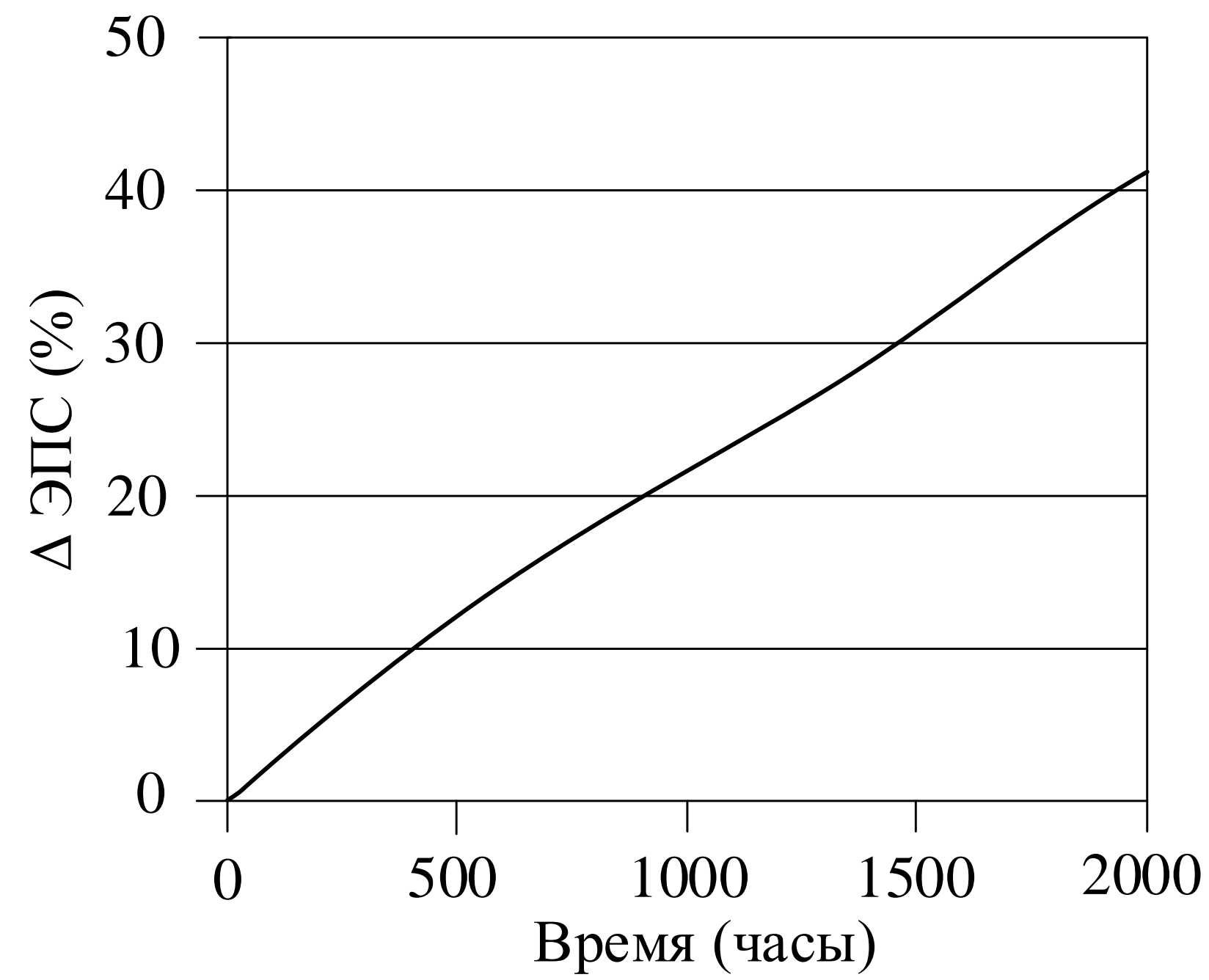
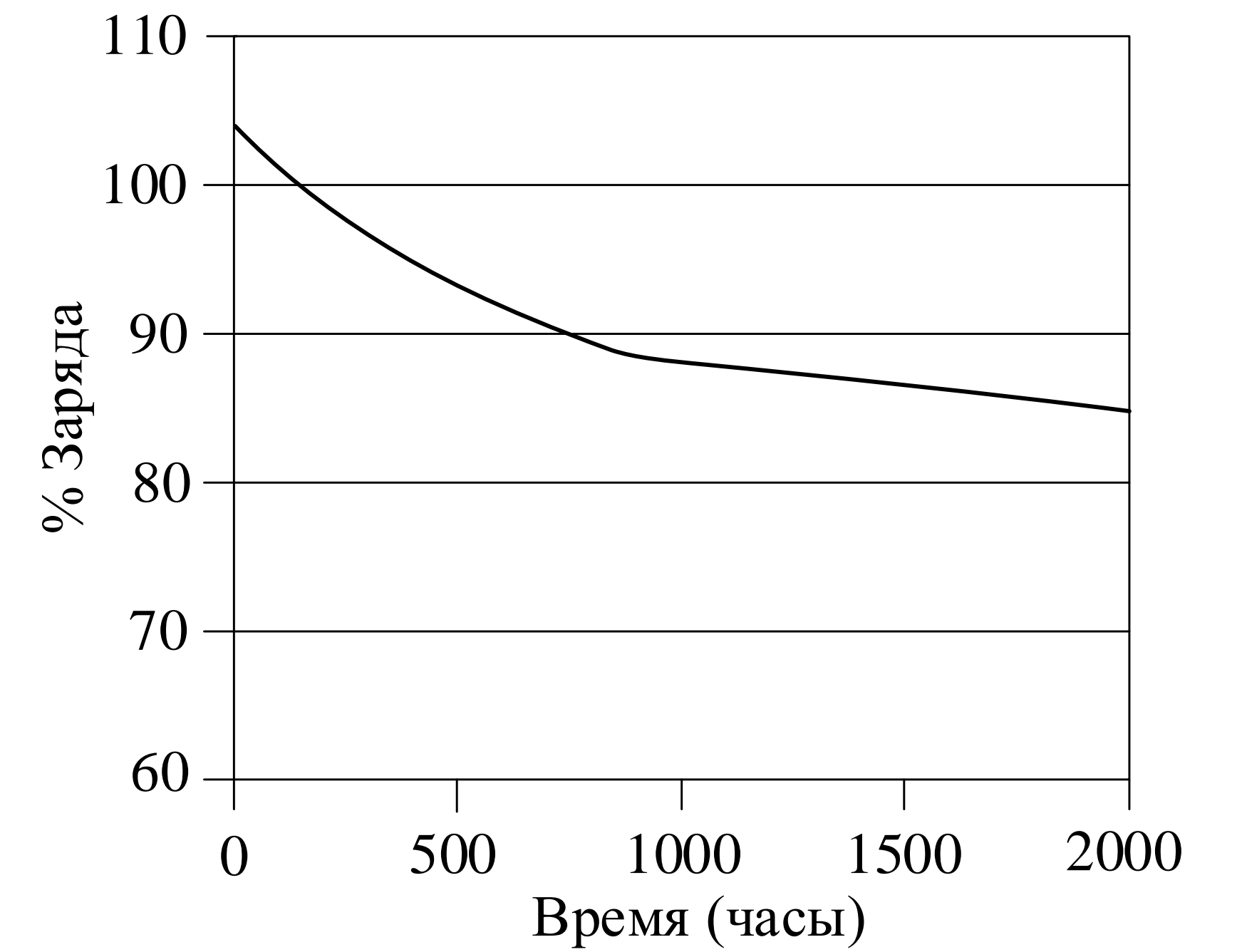


График зависимости эквивалентного последовательного сопротивления ионистора от времени



Зависимость времени саморазряда при различном времени заряда

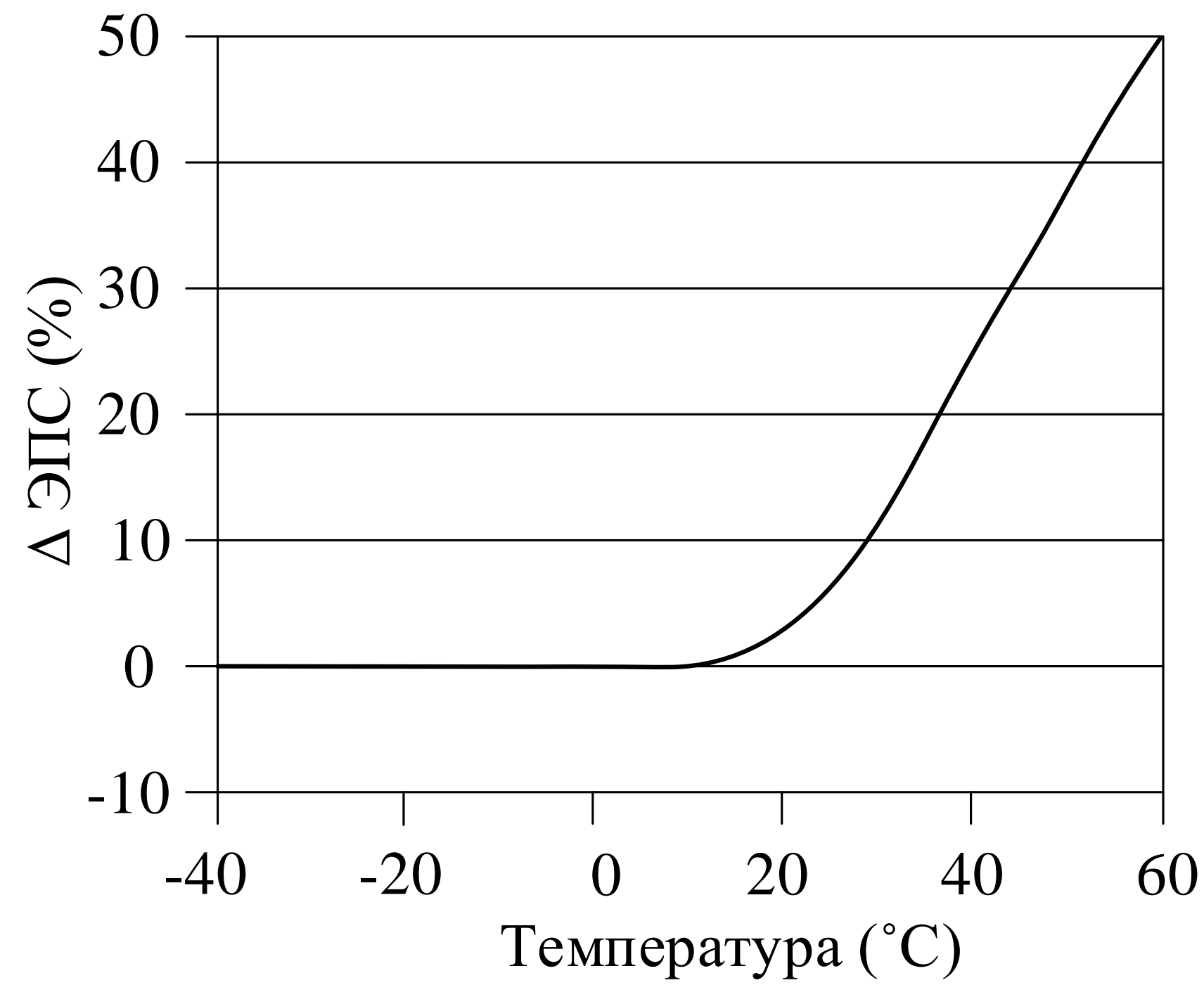


График зависимости эквивалентного последовательного сопротивления ионистора от температуры

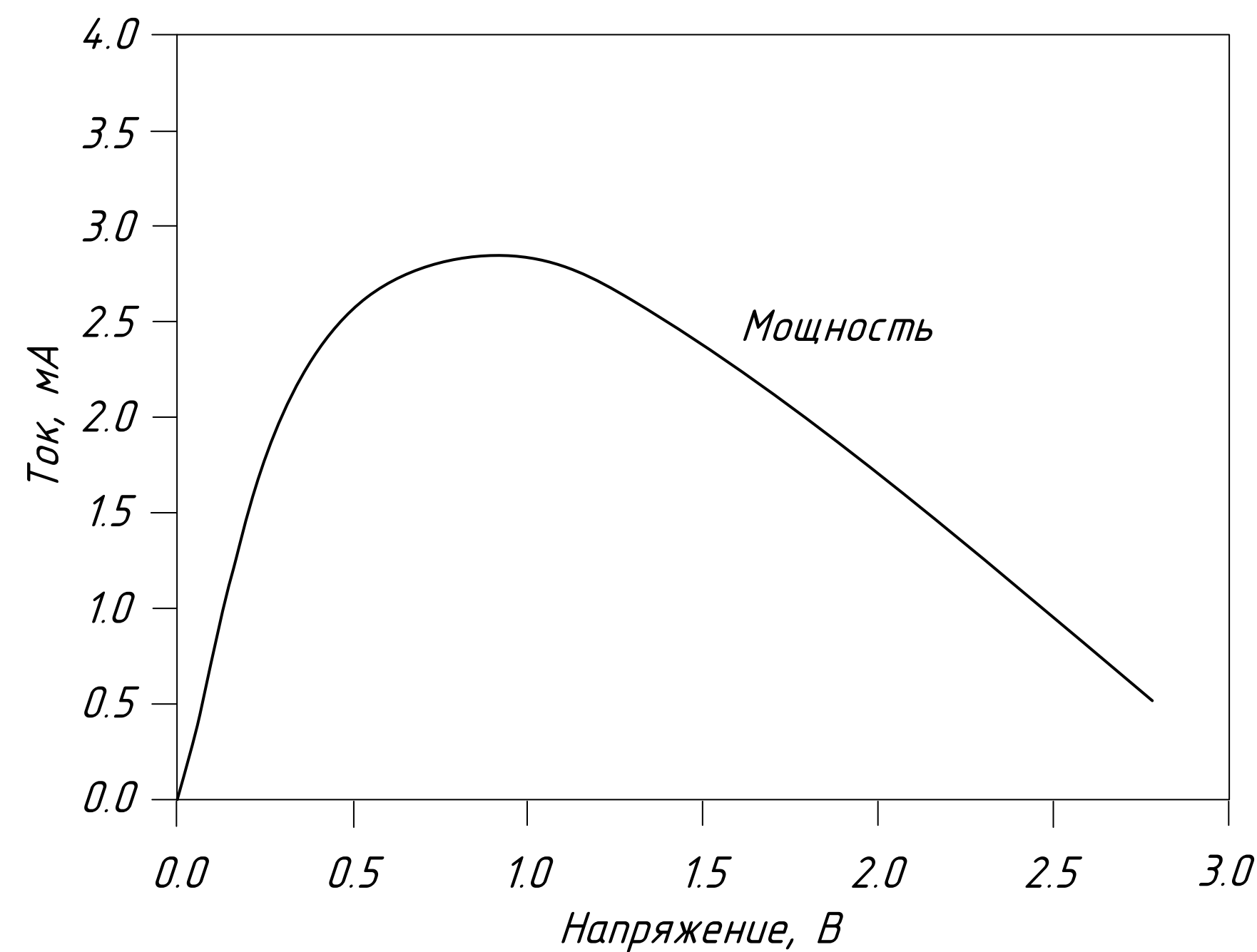
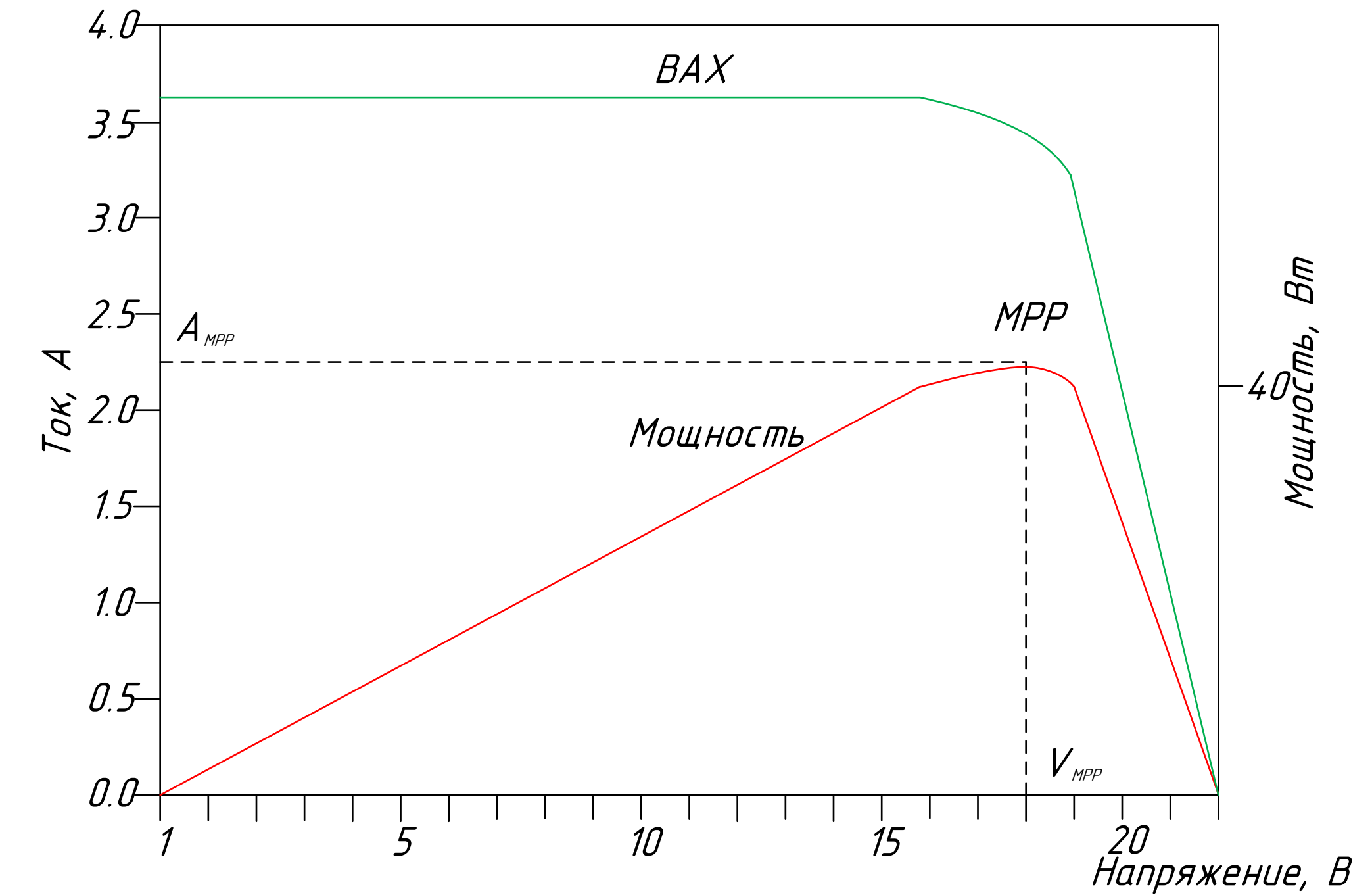


График зависимости мощности ионистора от тока и напряжения питания



Вольтамперная характеристика аккумуляторной батареи и точка максимальной мощности

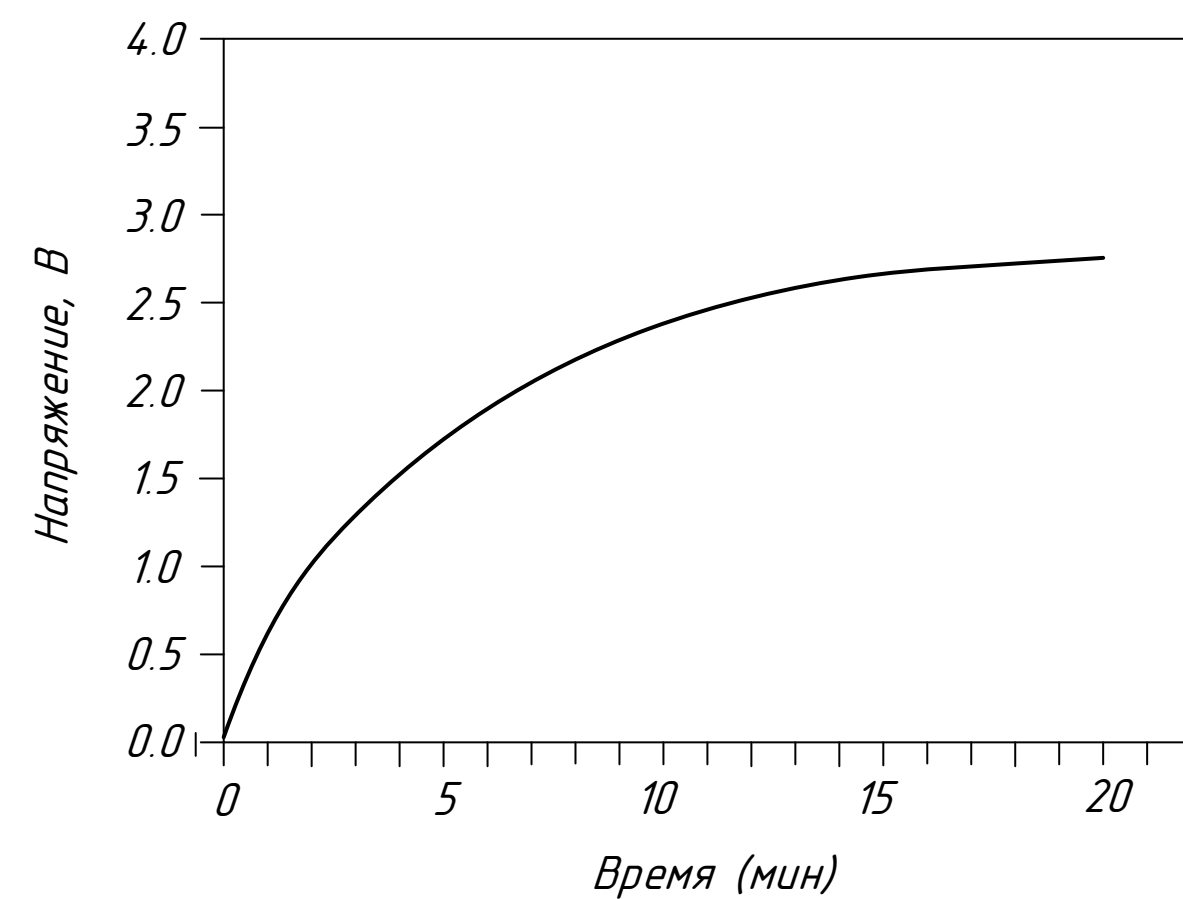


График зависимости напряжения заряда ионистора от времени

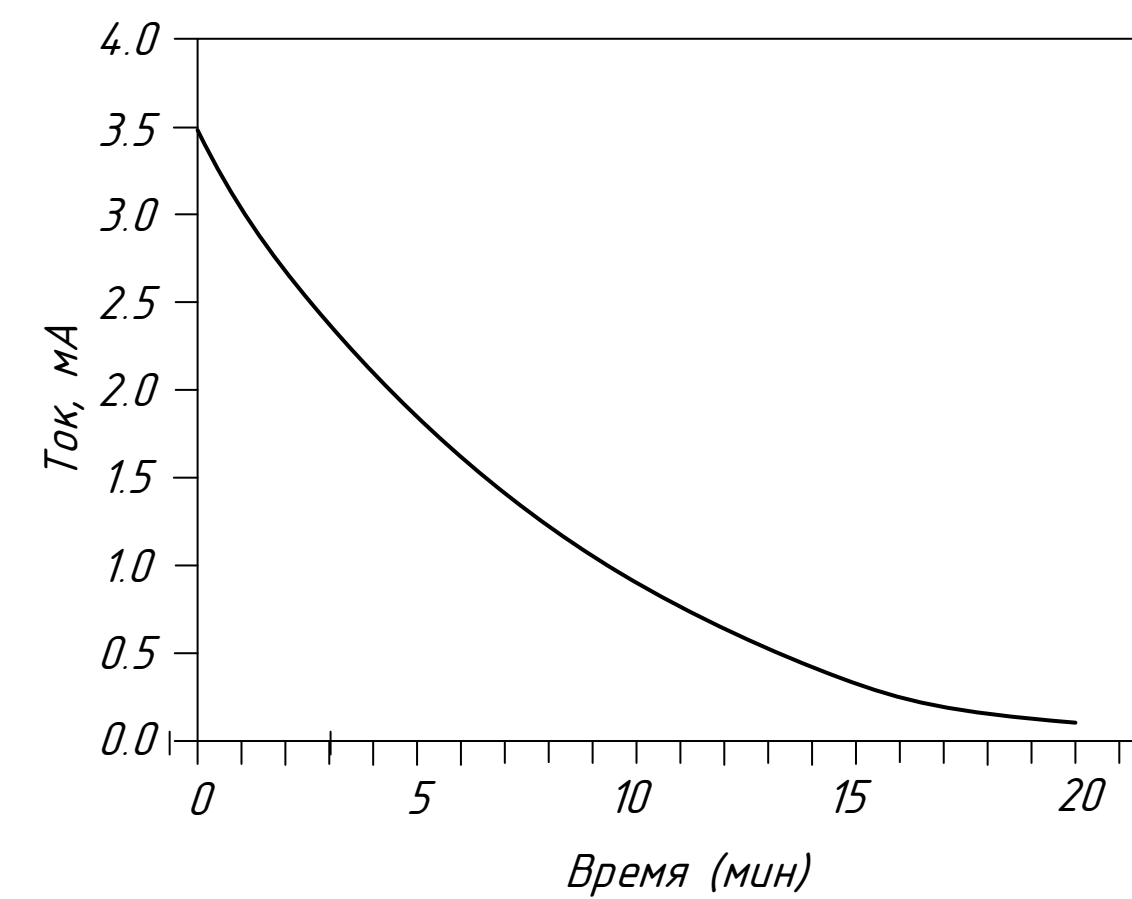


График зависимости тока заряда ионистора от времени

ВКР 150304.154.013.П/1					Литера	Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата	У		
Разработал	Макаров Н. А.						
Проверил	Усанко В. И.						
Т. контроль	Усанко В. И.						
Автоматизированная система управления зарядом ионисторной батареи от фотозлектрической установки					Лист 2	Листов 6	
Н. контроль	Скрипко О. В.				АМГУ гр. 5410б		
Утвердил	Скрипко О. В.						

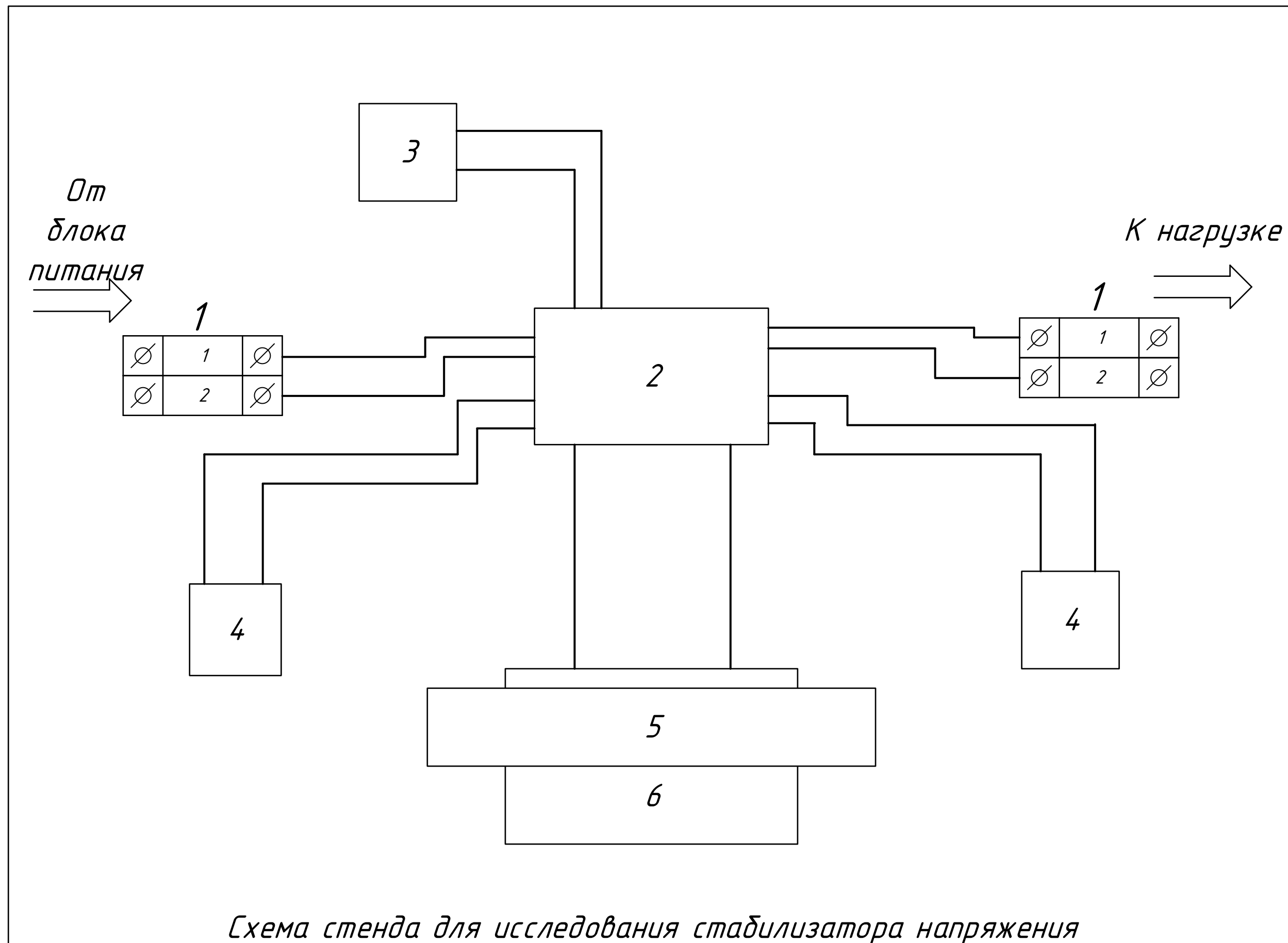
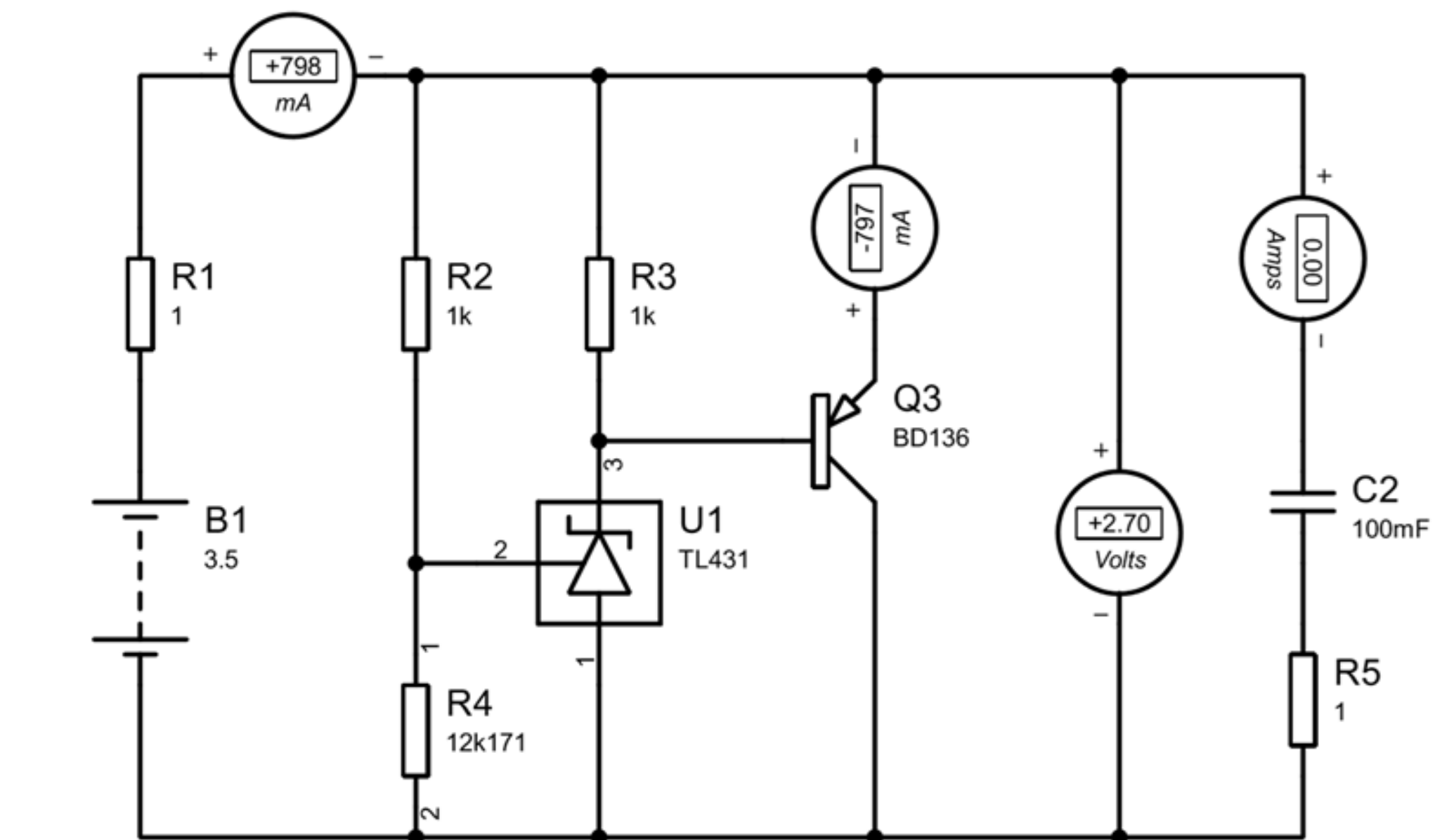
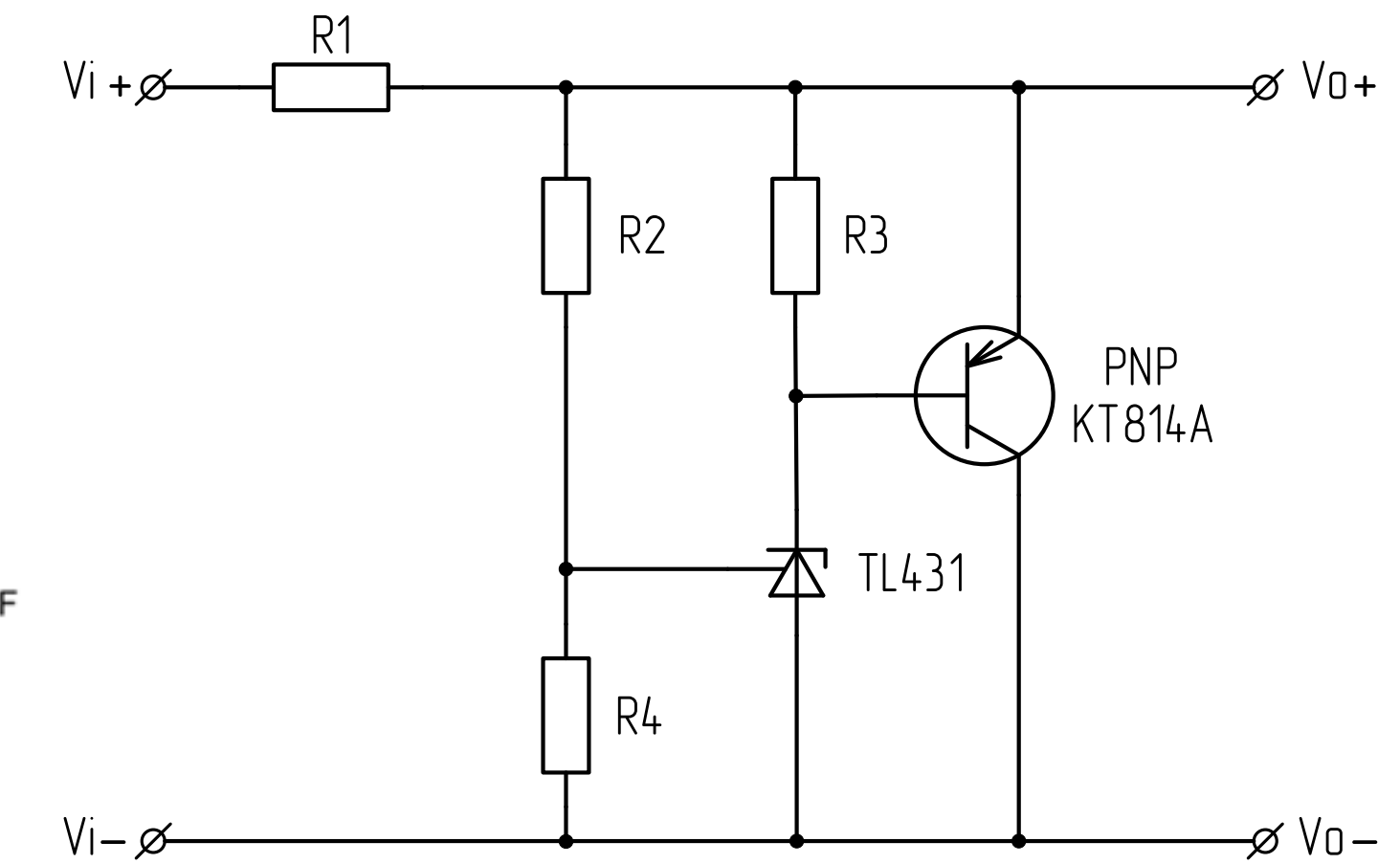


Схема стенда для исследования стабилизатора напряжения



Принципиальная схема стабилизатора напряжения в программе Proteus



Принципиальная схема стабилизатора напряжения

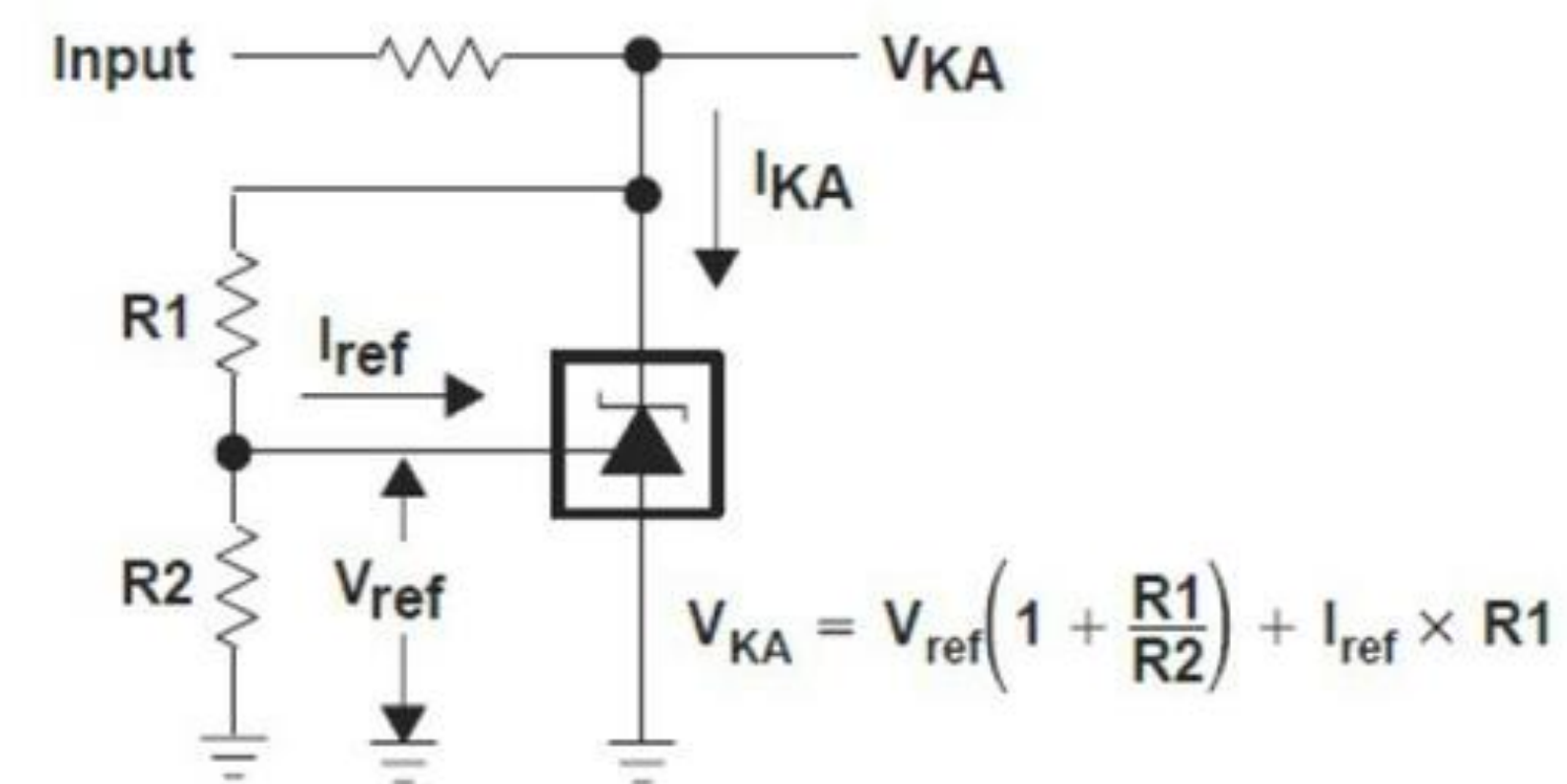
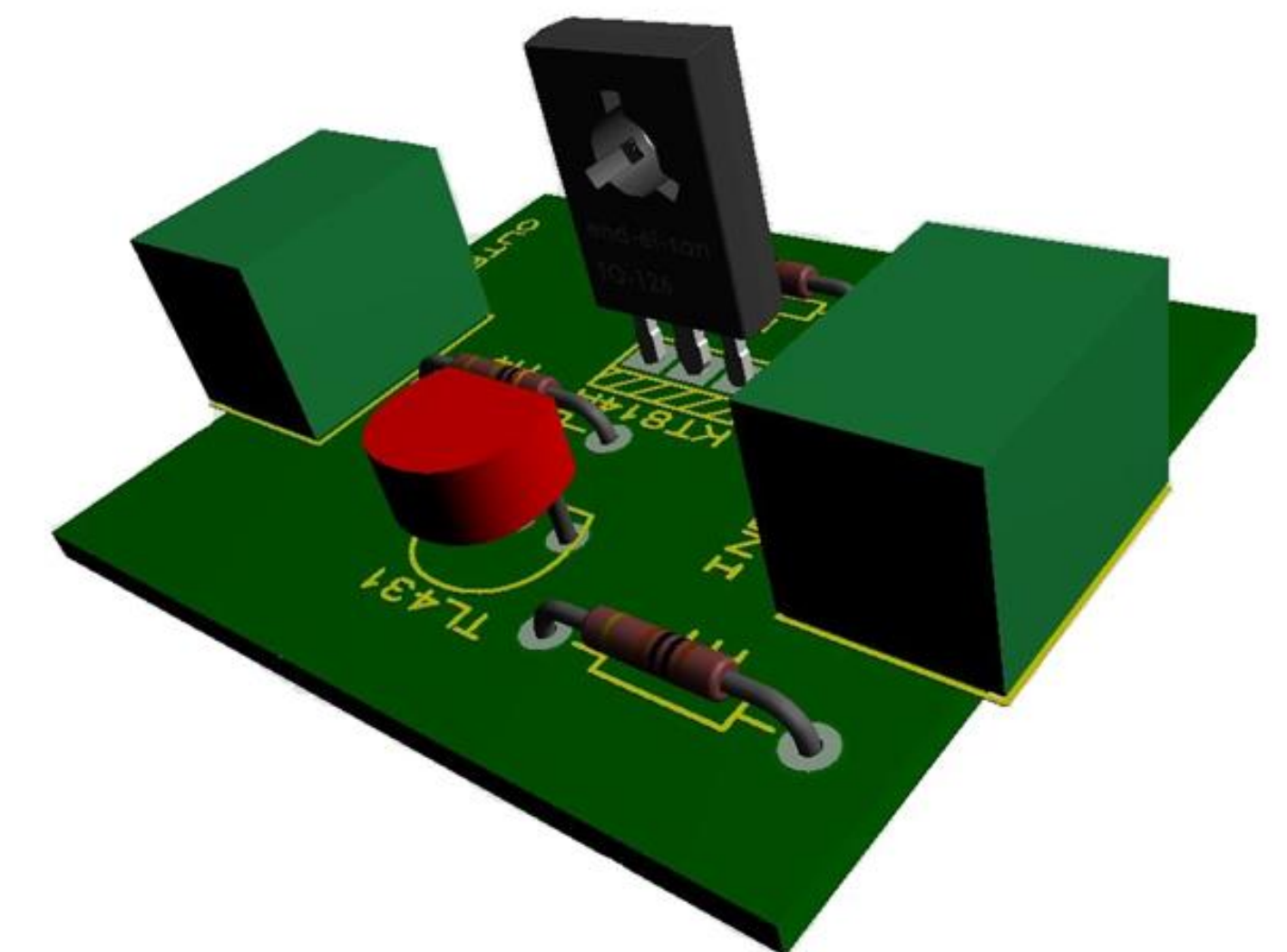


Схема токов и напряжений стабилитрона TL431



Модель стабилизатора напряжения в программе Proteus

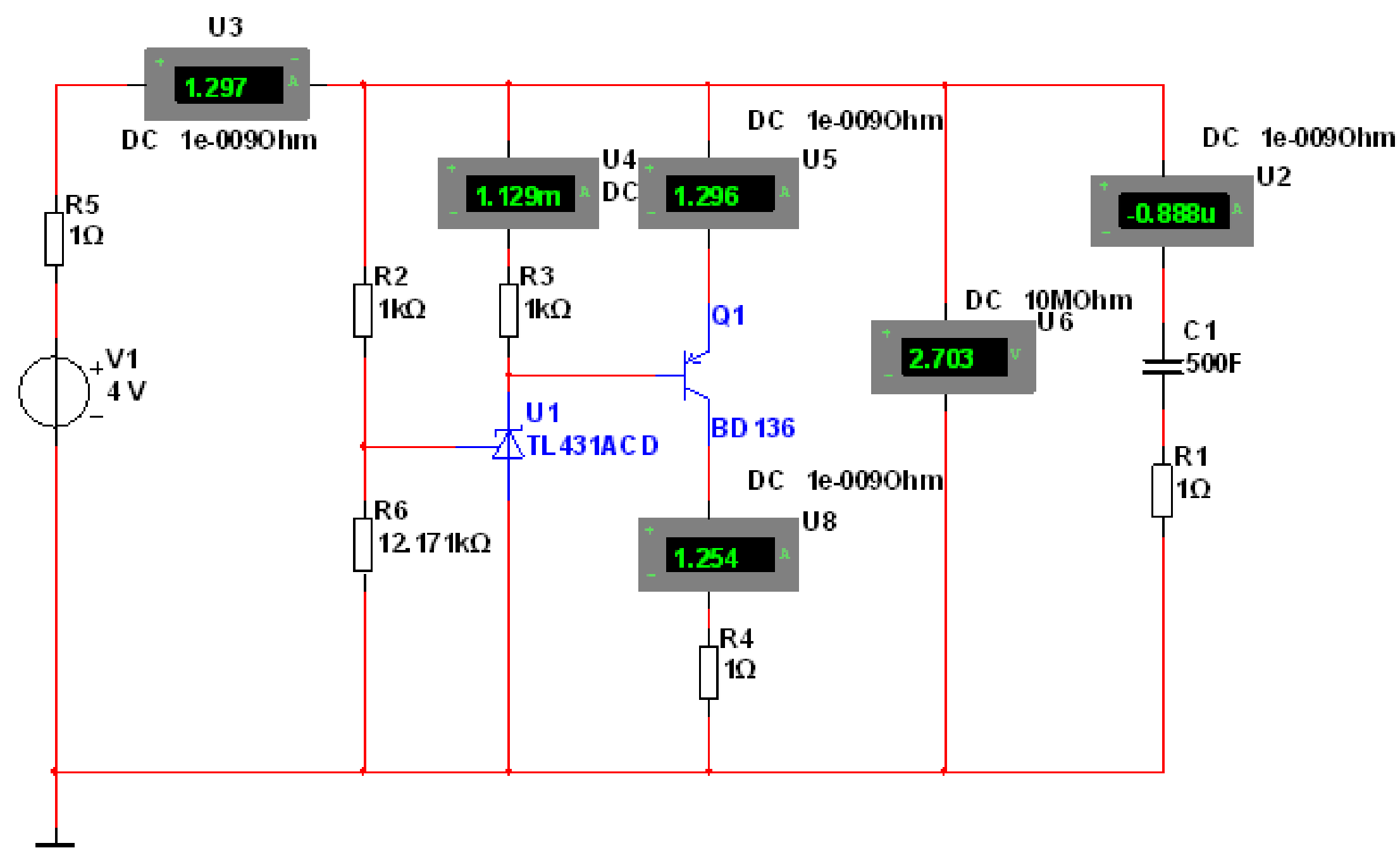
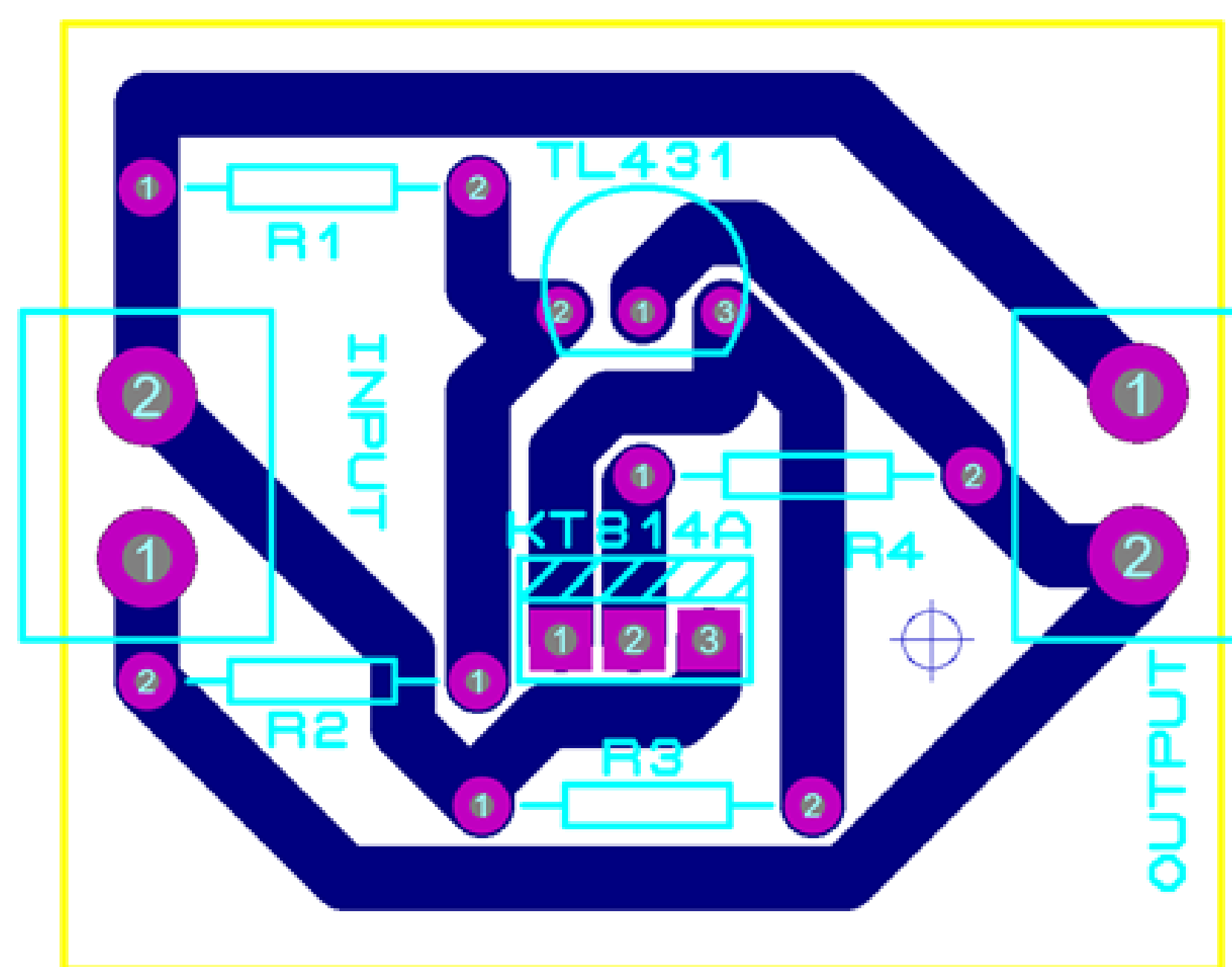


Схема исследования стабилизатора напряжения в программе Multisim



Эскиз печатной платы стабилизатора напряжения в программе Proteus

Зона	Обозначение	Наименование	Кол.	Примеч.
	1	Клемма двухконтактная	2	
	2	Плата устройства стабилизации напряжения	1	
	3	Потенциометр 10 Ом	1	
	4	Потенциометр 1500 Ом	2	
	5	Крепление металлическое	1	
	6	Амперметр 300 мА	1	

VKP 150304_154013 П1				
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата
Разработал		Макаров Н. А.		
Проверил		Усачко В. И.		
Т. контроль		Усачко В. И.		
Н. контроль		Скрипко О. В.		
Утвердил		Скрипко О. В.		

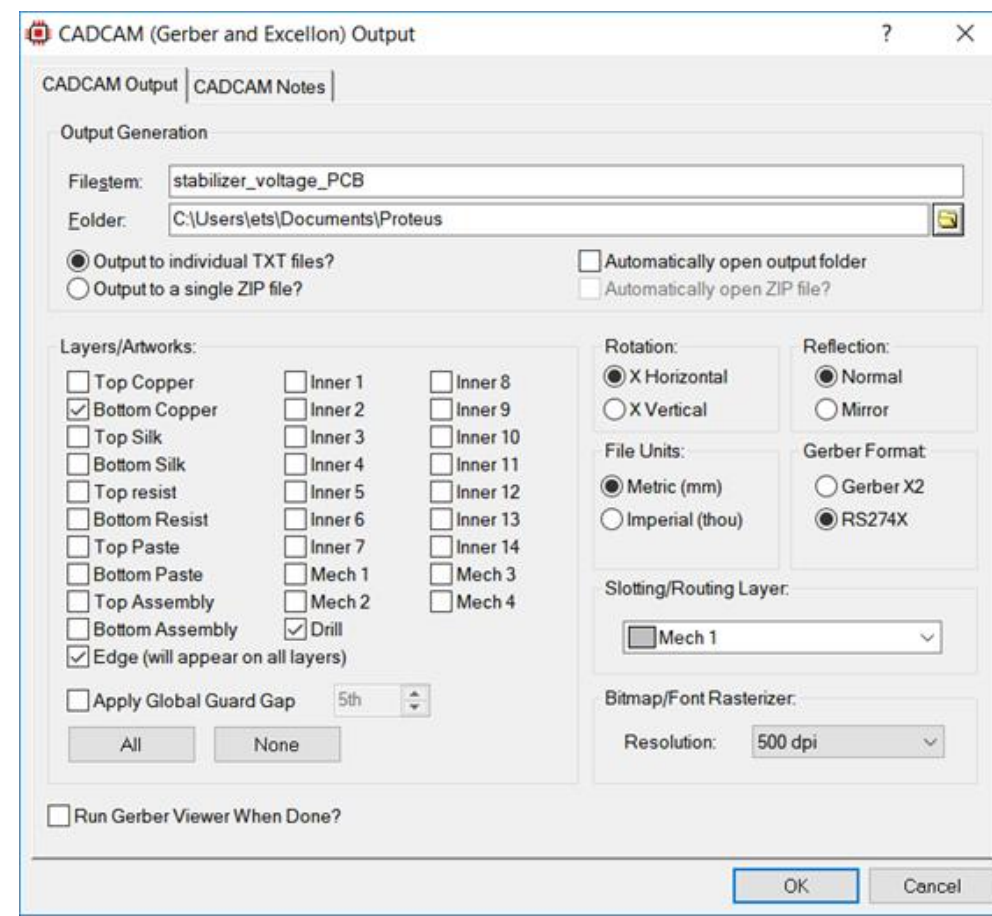
Схема стенда для исследования стабилизатора напряжения, устройство стабилизатора напряжения, элементы стабилизатора напряжения

Автоматизированная система управления зарядом ионисторной батареи от фотоэлектрической установки

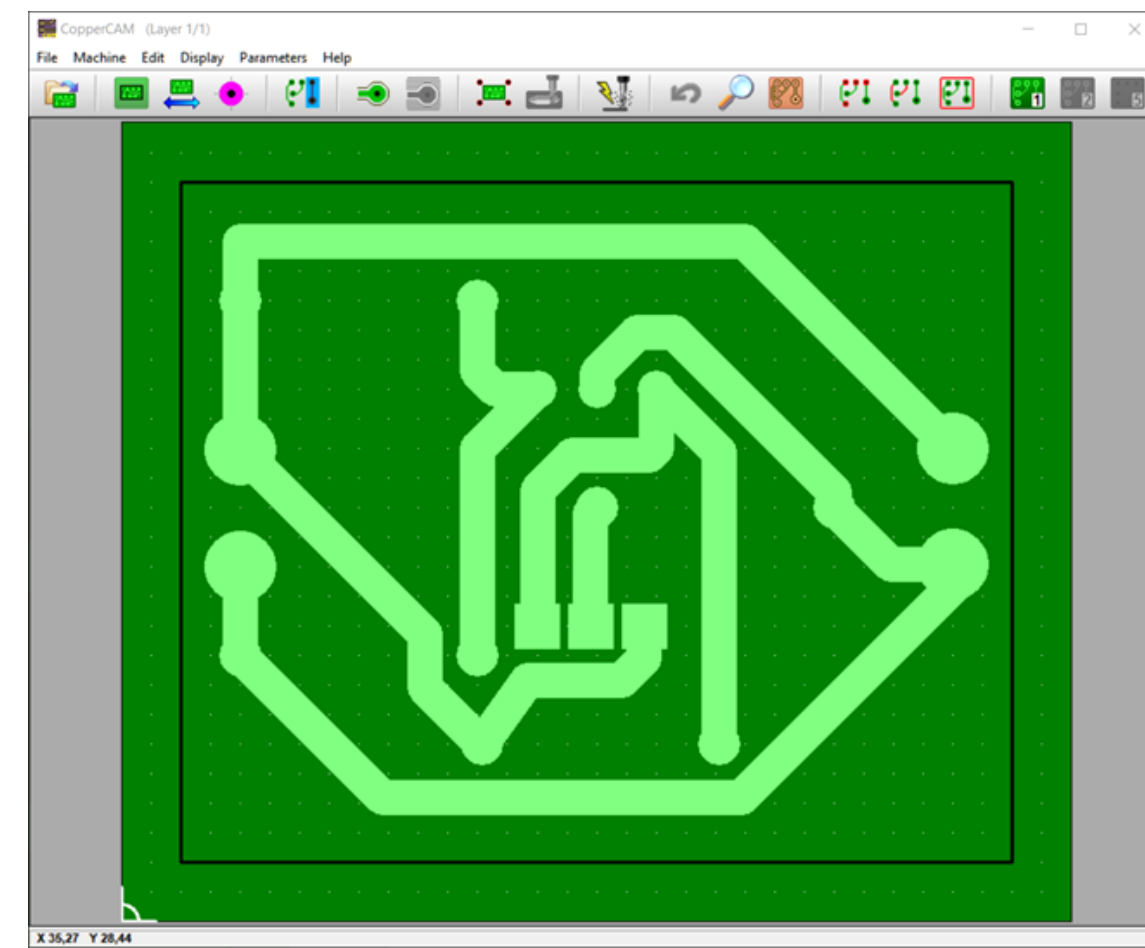
Литера	Масса	Масштаб
У		

Лист 3 Листов 6

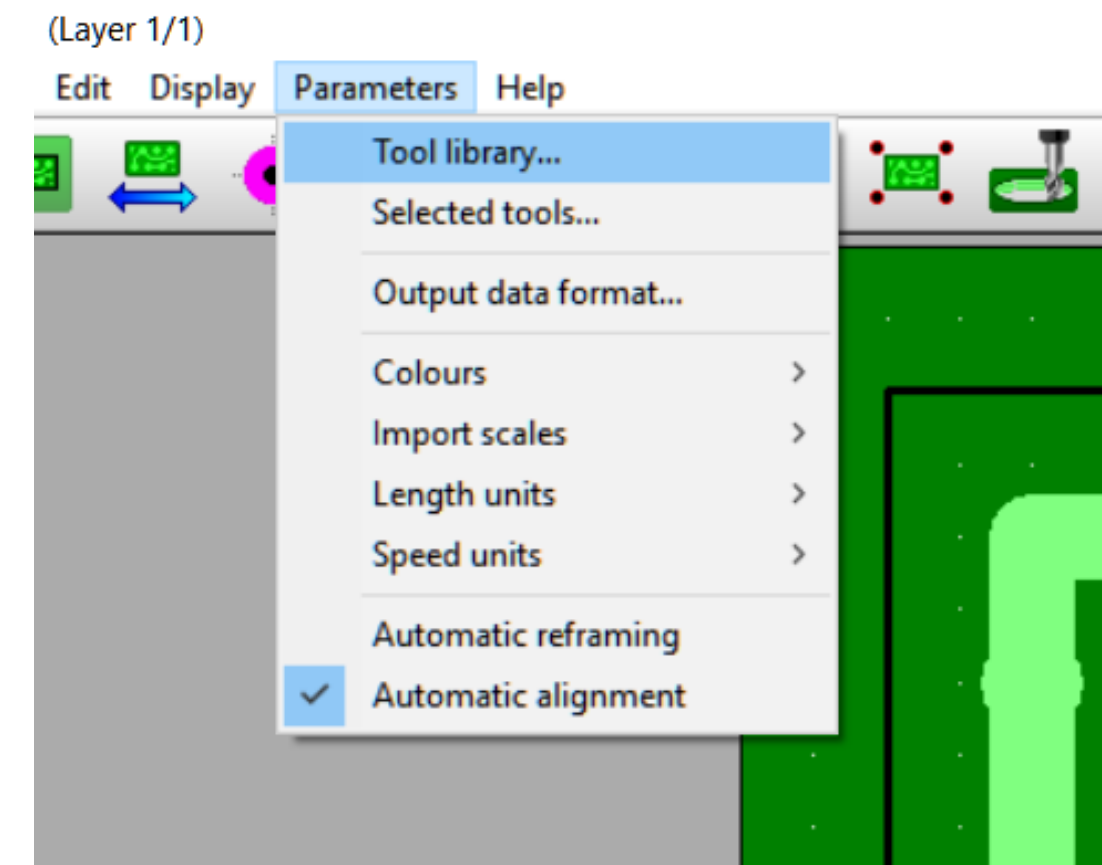
АМГУ гр. 5410б



1. Создание Gerber-файлов печатной платы в программе Proteus

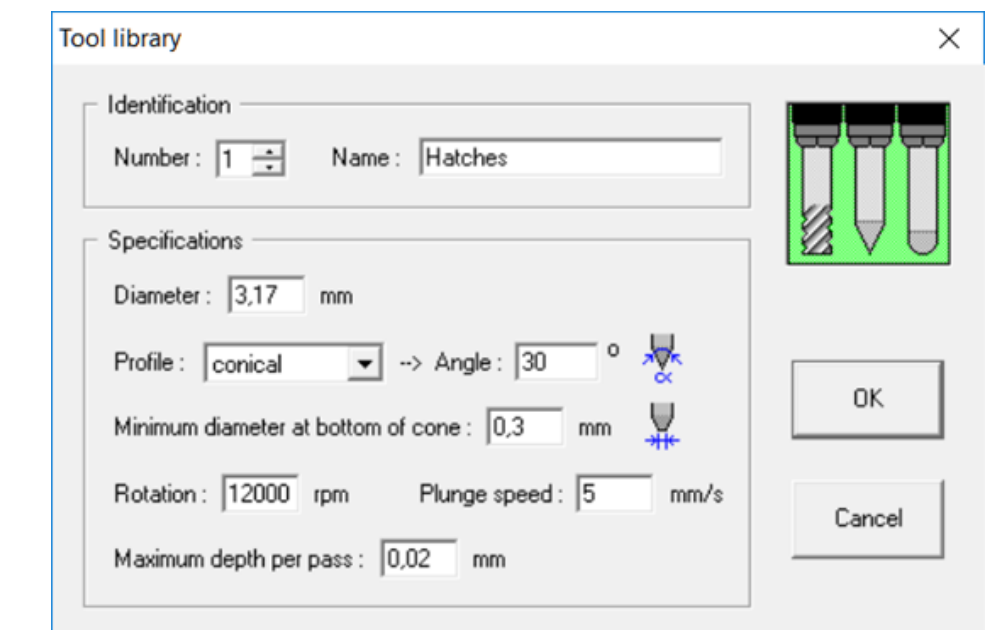


2. Открытие основного слоя печатной платы в программе CopperCAM

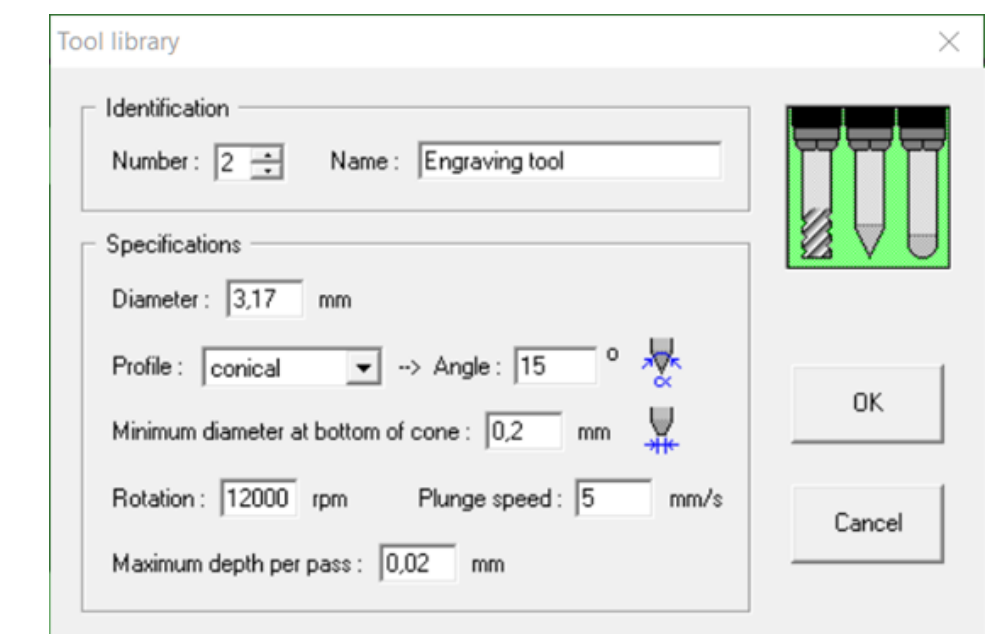


3. Пункт настройки инструментов для обработки

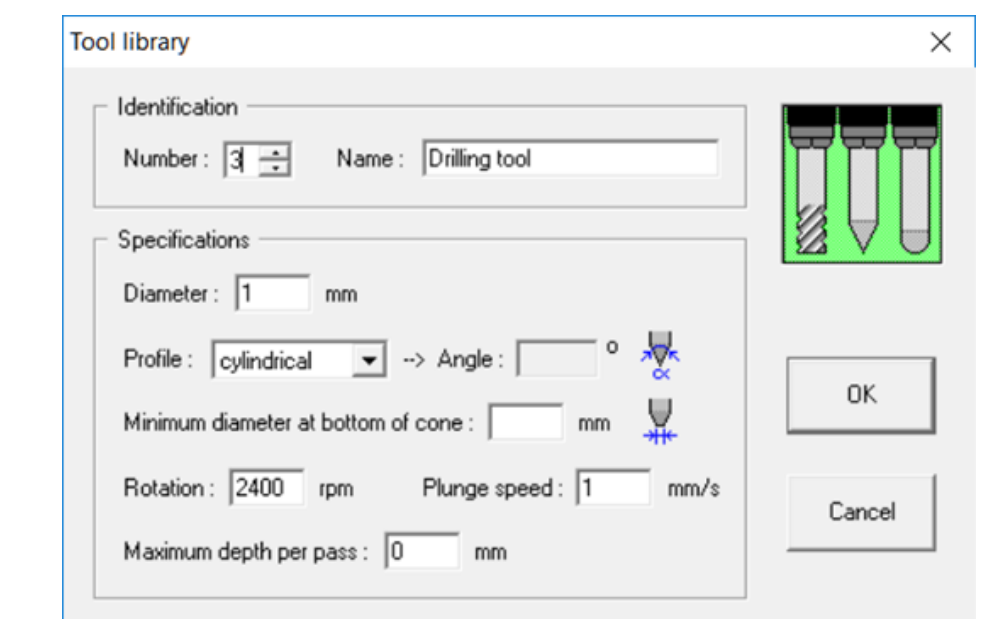
Настройка инструментов для обработки



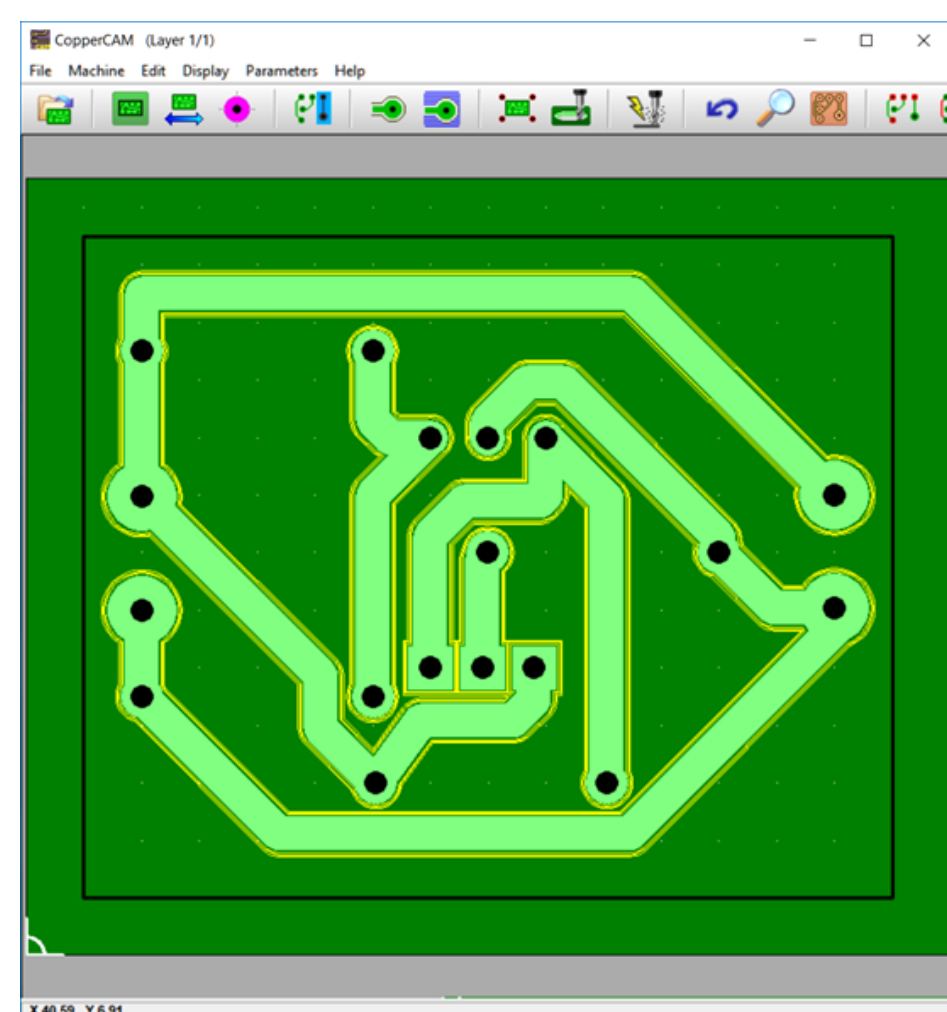
Настройка инструмента для снятия больших площадей меди



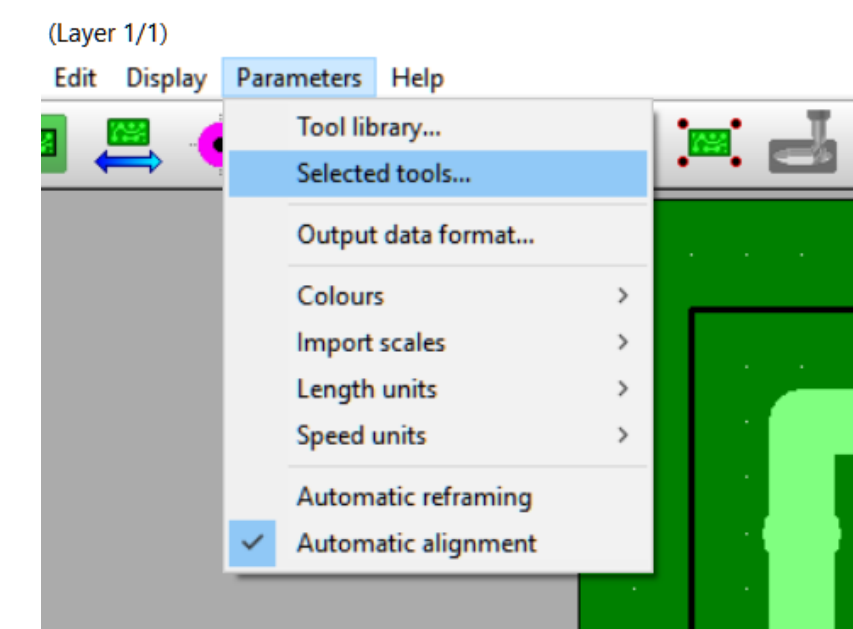
Настройка инструмента для гравирования



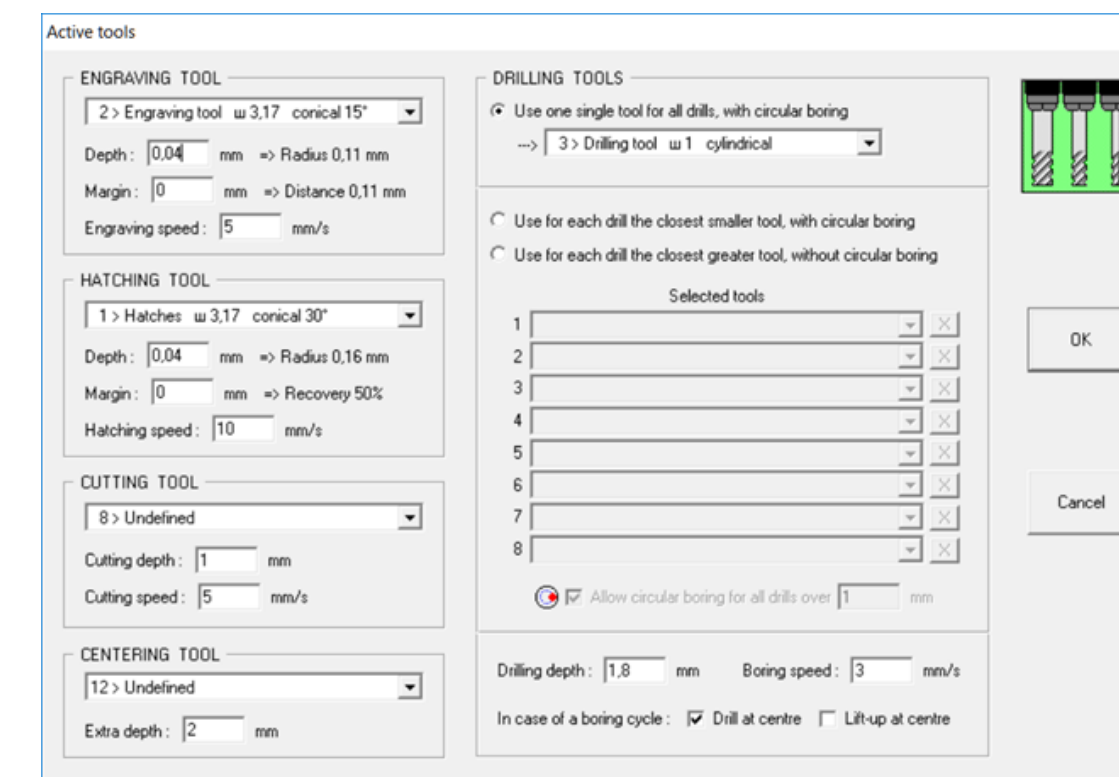
Настройка инструмента для сверления



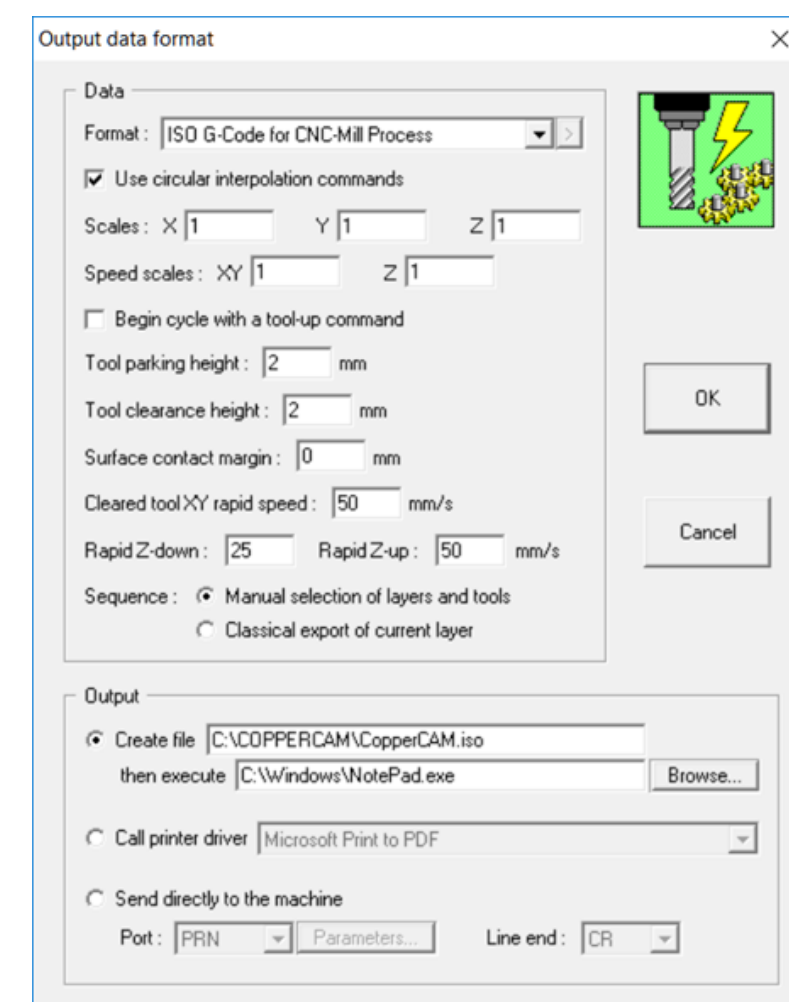
4. Создание контуров обработки дорожек печатной платы



5. Пункт выбора инструментов для обработки

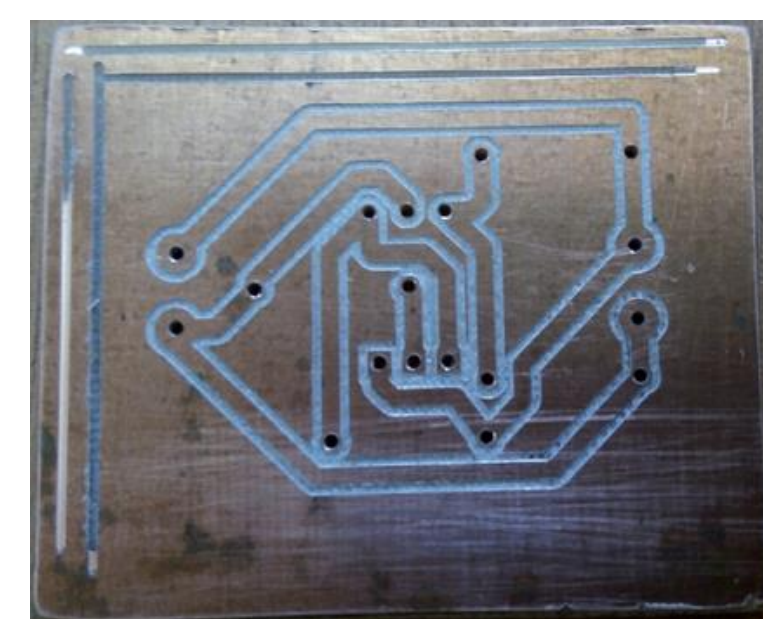


6. выбор инструментов для обработки и указание параметров обработки

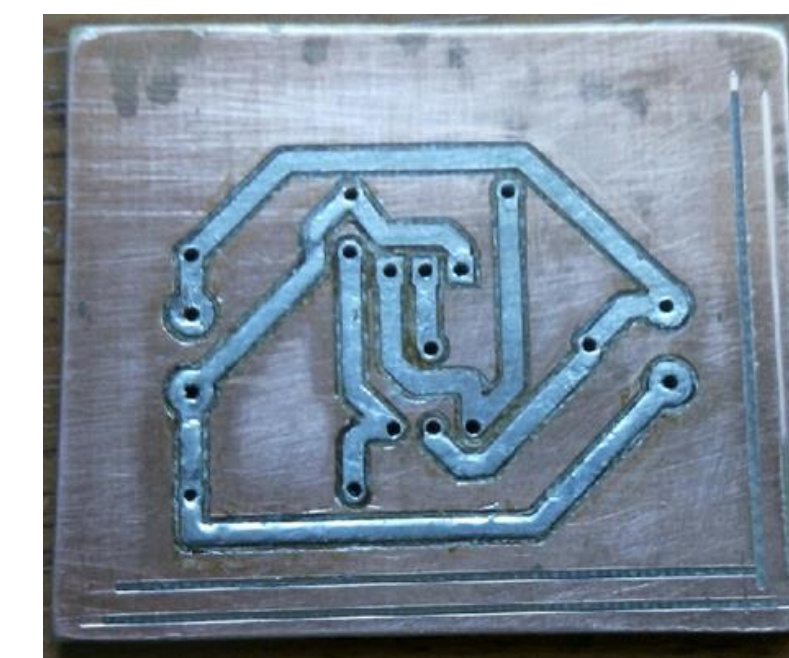


6. Пункт создания файла с G-CODE

7. Настройка параметров для создания файла с G-CODE



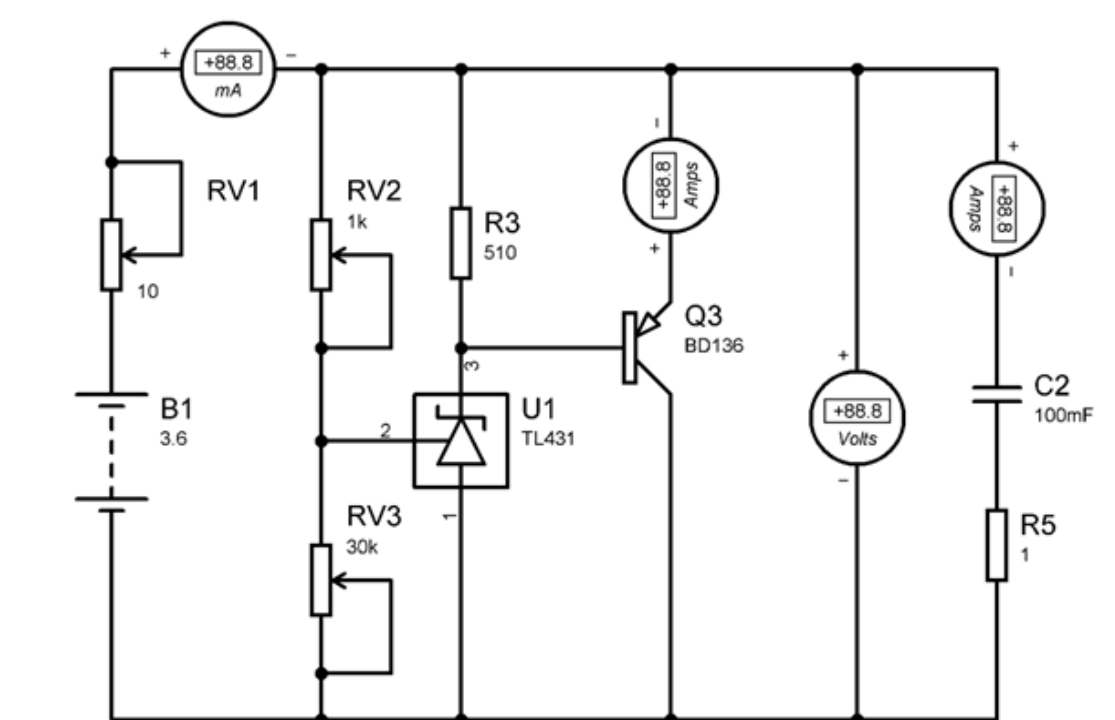
8. Вырезанная на станке с ЧПУ плата



9. Луженая плата



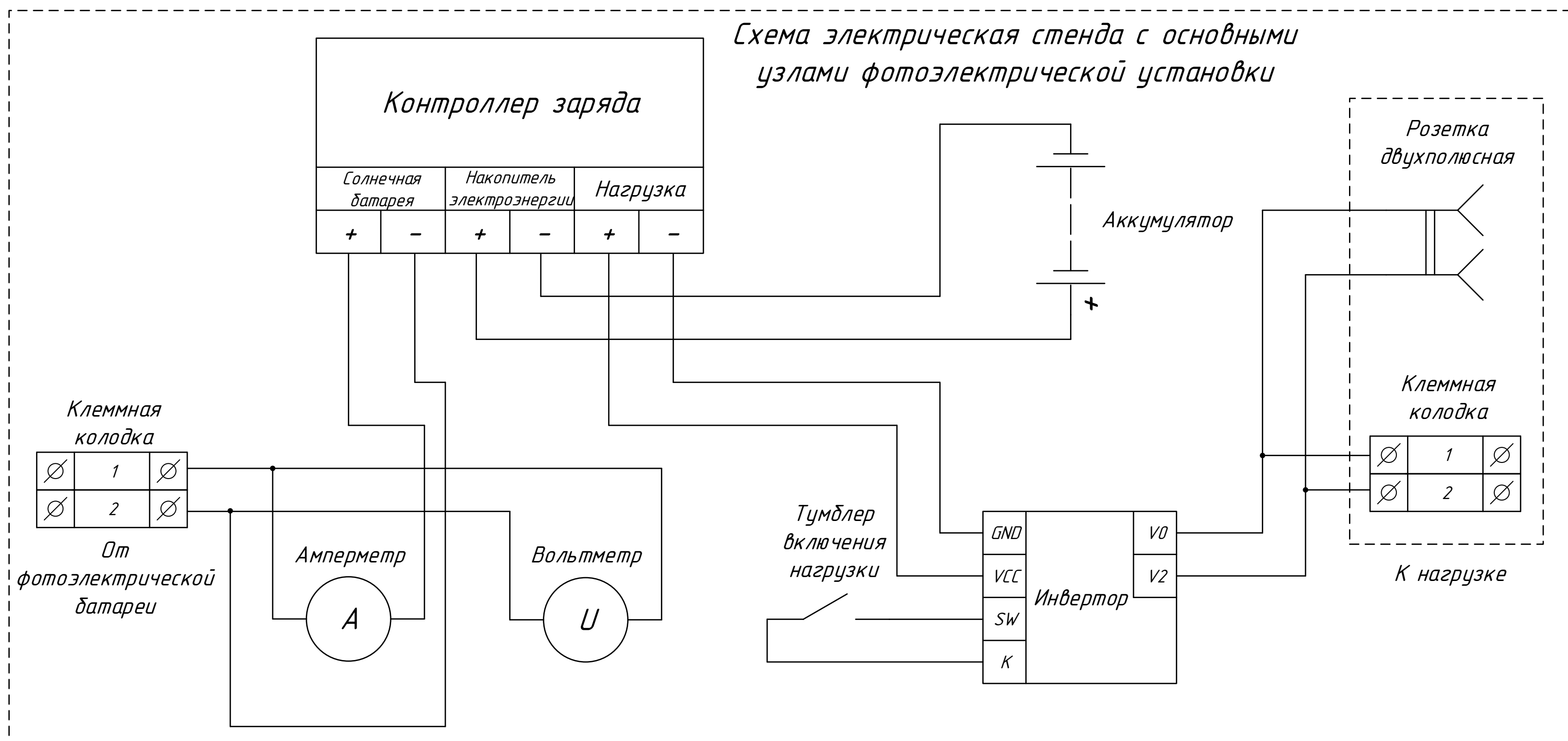
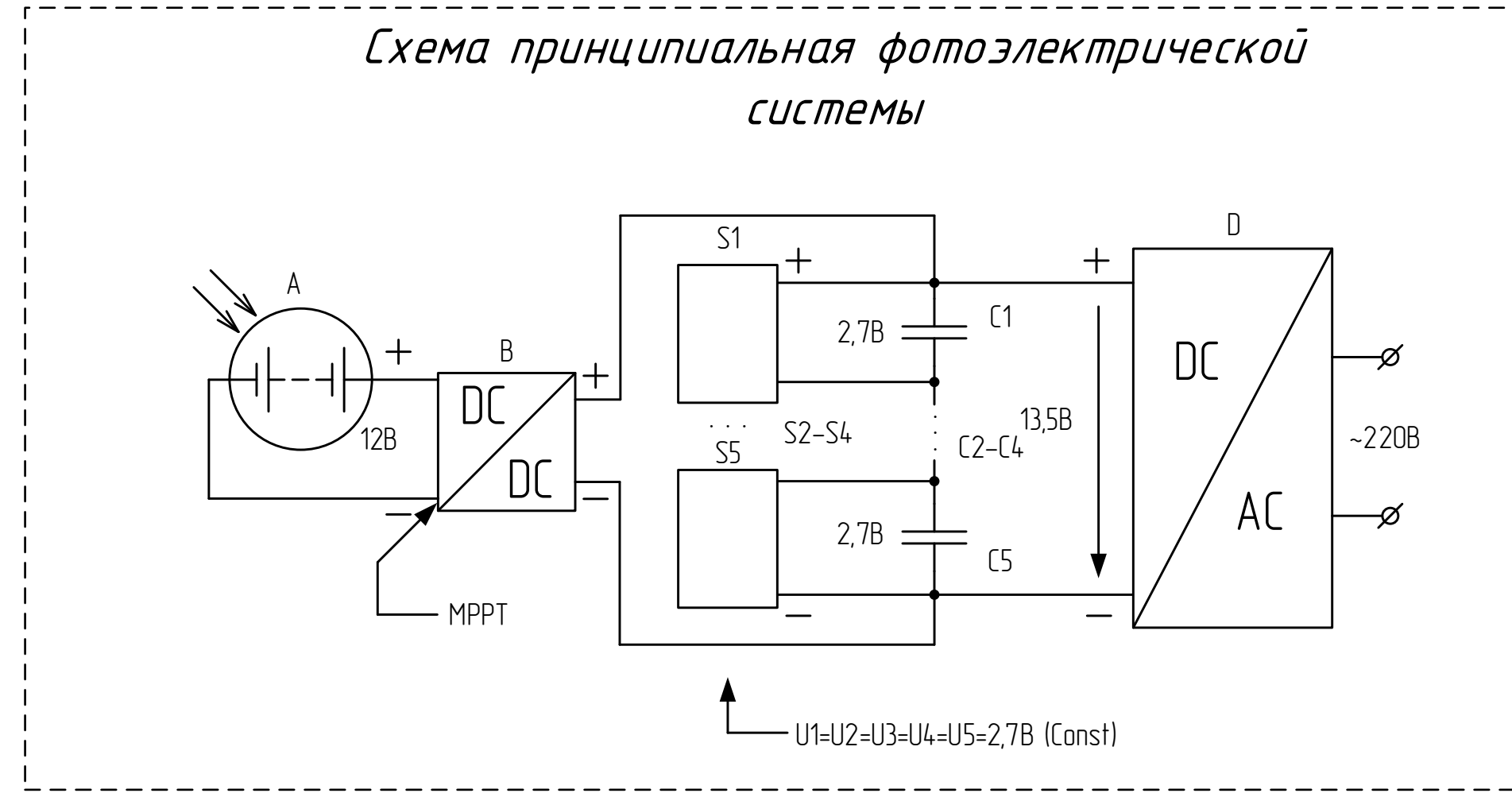
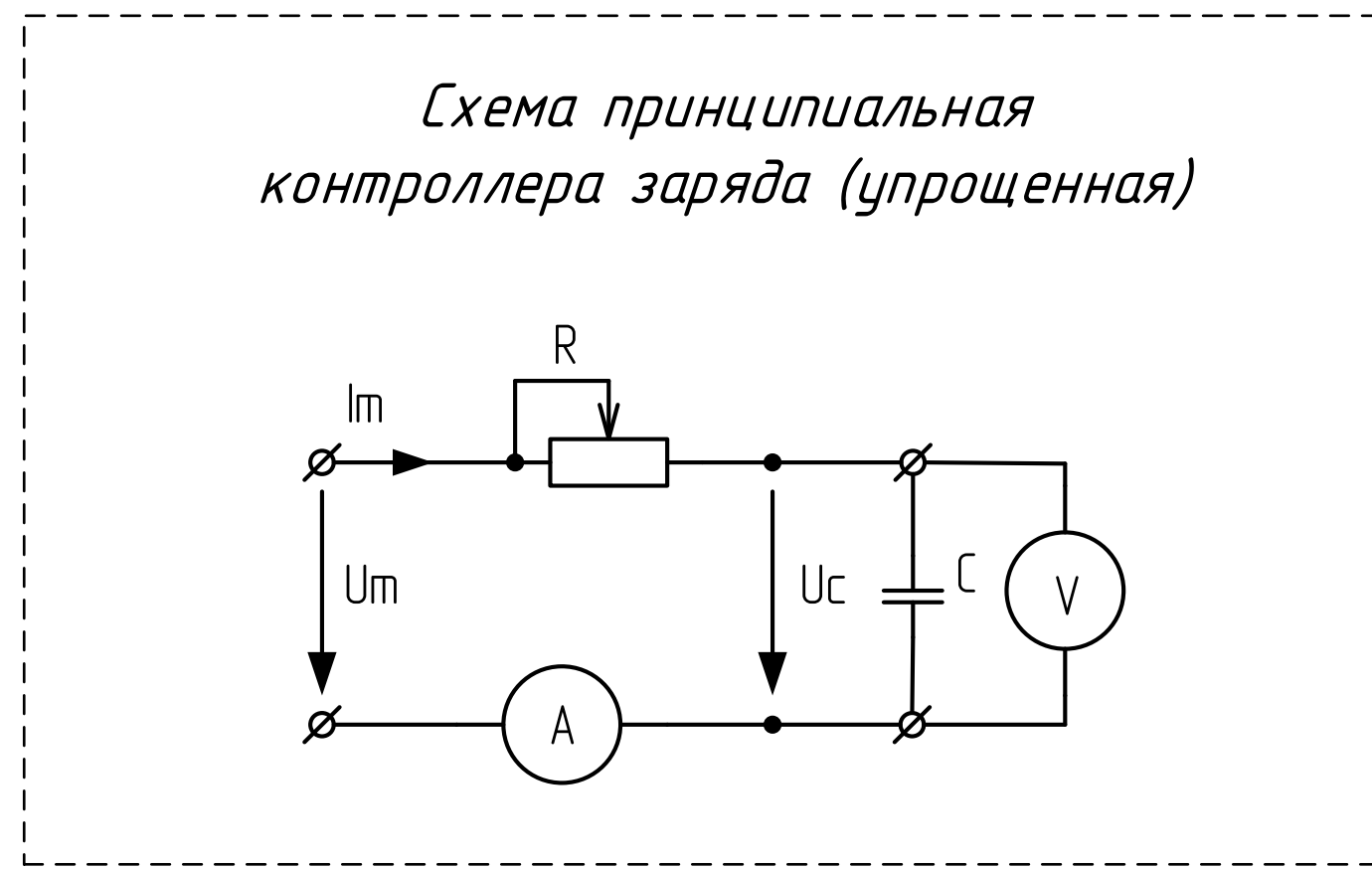
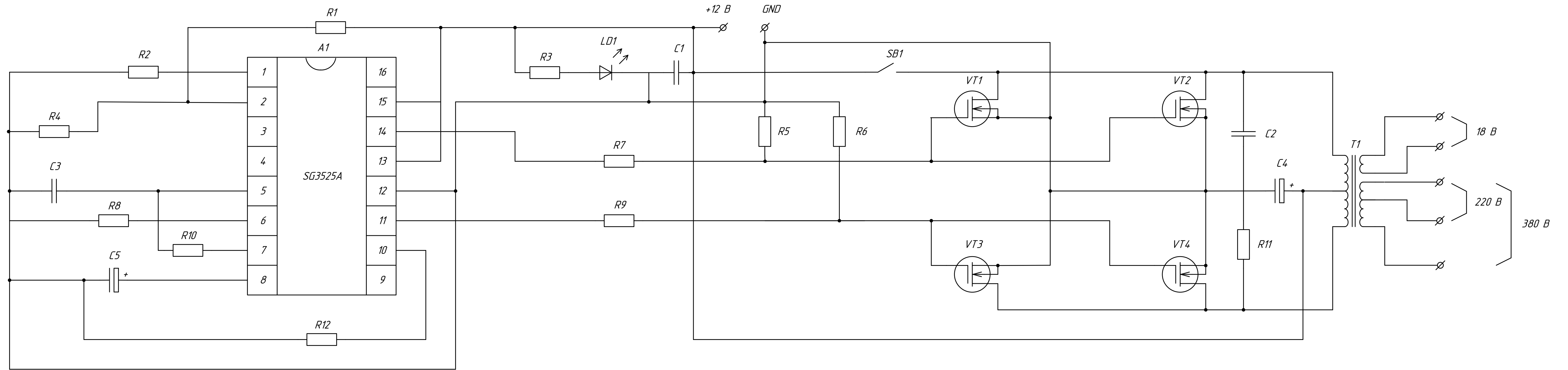
11. Стенд для исследования стабилизатора напряжения в собранном виде



10. Изменения в схеме стабилизатора напряжения

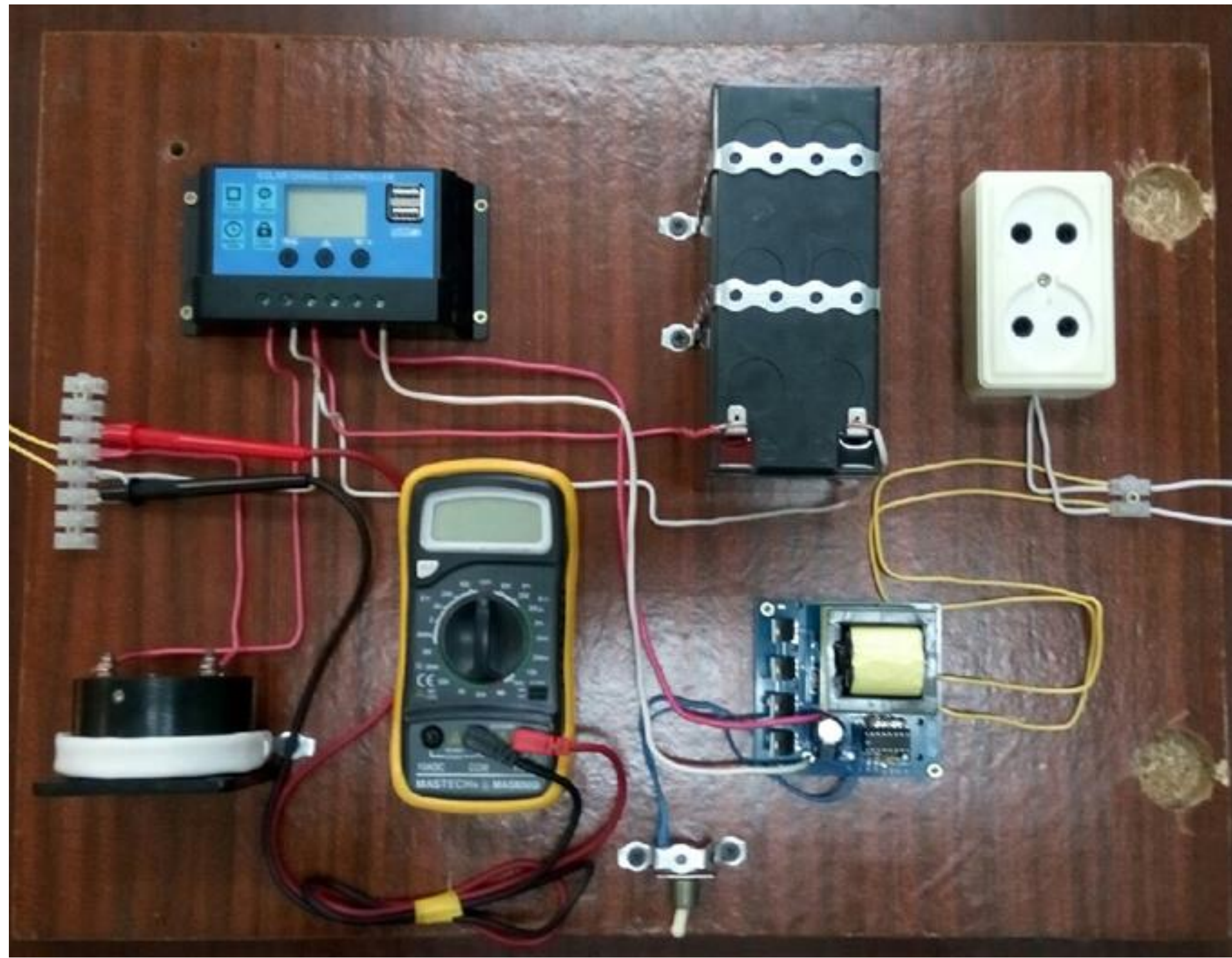
				ВКР 150304.154.013 П/П			
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата	Литера	Масса	Масштаб
Разработал		Макаров Н. А.			У		
Проверил		Усенко В. И.					
Т. контроль		Усенко В. И.			Лист 4	Листов 6	
Н. контроль		Скрипко О. В.			Автоматизированная система управления зарядом ионисторной батареи от фотоэлектрической установки		АМГУ гр. 5410б
Утвердил		Скрипко О. В.					

Схема принципиальная преобразователя напряжения



Зона	Обозначение	Наименование	Кол.	Примеч.
	A1	ШИМ-контроллер управляемый SG3525A	1	
	C1	Конденсатор керамический 104 мкФ	1	
	C2, C3	Конденсатор керамический 103 мкФ	2	
	C4	Конденсатор электролитический 4700 мкФ	1	
	C5	Конденсатор электролитический 1 мкФ	1	
	LD1	Светодиод	1	
	R1, R2, R4, R5, R6, R12	Резистор 10000 Ом	6	
	R3	Резистор 2000 Ом	1	
	R7, R9, R11	Резистор 4700 Ом	3	
	R8	Резистор 3300 Ом	1	
	R10	Резистор 100 Ом	1	
	SB1	Кнопка питания		
	T1	Трансформатор 18 В, 220 В, 380 В	1	
	VT1, VT2, VT3, VT4	Транзистор полевой IRF3205	4	

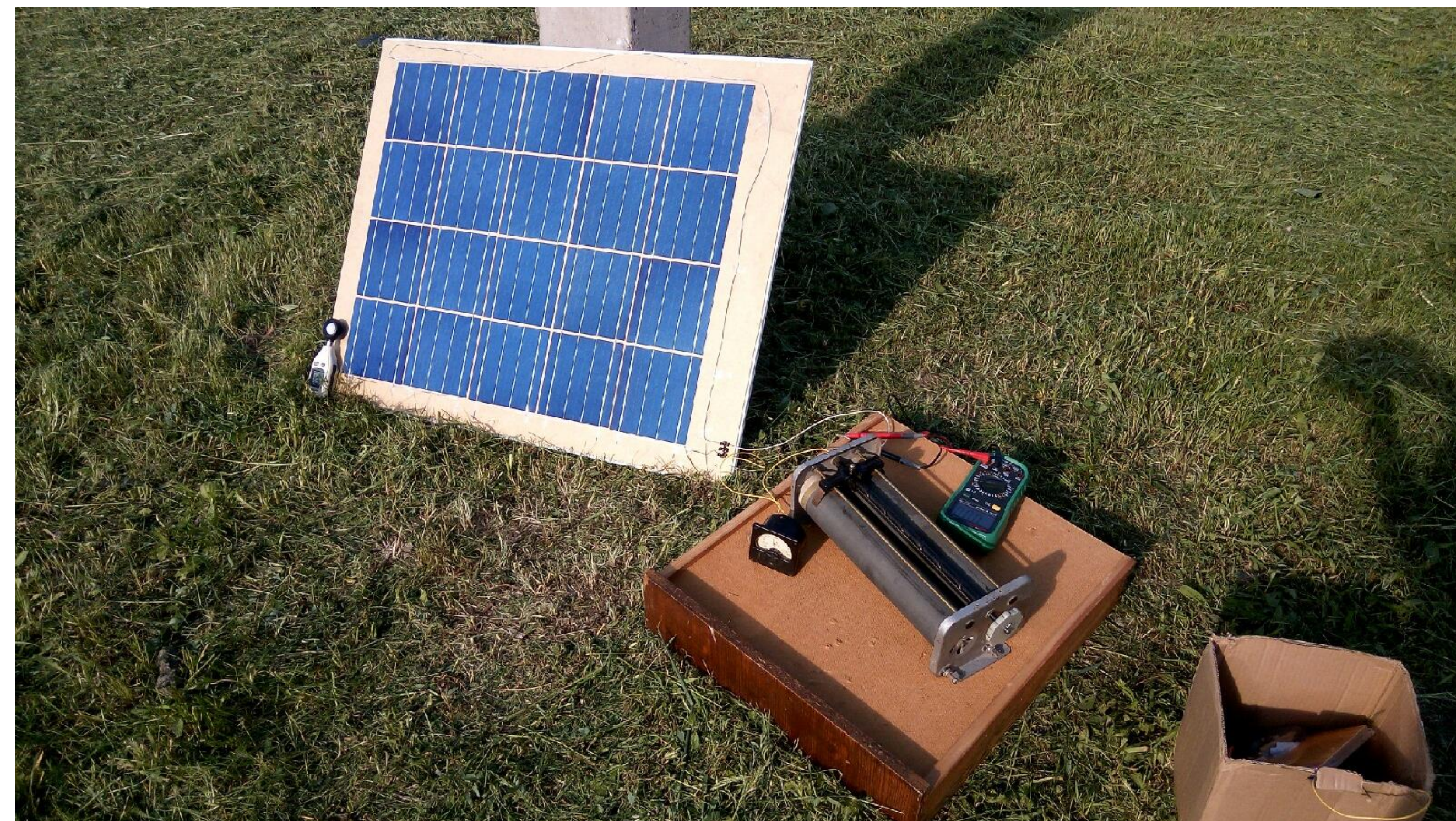
ВКР 150304.154.013.П/1					Литера	Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата	У		
Разработал	Максимова Н. А.						
Проверил	Усанко В. И.						
Т. контроль	Усанко В. И.						
Автоматизированная система управления зарядом ионисторной батареи от фотозлектрической установки					Лист 5	Листов 6	
Н. контроль	Скрипко О.В.				АМГУ гр. 5410б		
Утвердил	Скрипко О.В.						



Стенд с основным оборудованием фотоэлектрической установки



Исследование фотоэлектрической установки



Снятие характеристик фотоэлектрической панели



Исследование работы стабилизатора напряжения

				ВКР 150304_154013 П1				
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата	Исследование фотоэлектрической системы	Литера	Масса	Масштаб
Разработал		Макаров Н. А.				У		
Проверил		Усанко В. И.						
Т. контроль		Усанко В. И.				Лист 6		Листов 6
Н. контроль		Скрипко О. В.			Автоматизированная система управления зарядом ионисторной батареи от фотоэлектрической установки	АМГУ гр. 5410б		
Утвердил		Скрипко О. В.						