

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

Кафедра Промышленная электроника
(наименование)

11.03.04 – Электроника и наноэлектроника
(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроника и робототехника
(направленность (профиль) / специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Сетевой блок питания постоянного напряжения

Обучающийся	<u>Н.В. Исаев</u> (Инициалы Фамилия)	<u>(личная подпись)</u>
Руководитель	<u>М.В. Позднов</u> (ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)	

Тольятти 2023

Аннотация

Название бакалаврской работы: «Сетевой блок питания постоянного напряжения».

Работа состоит из пояснительной записки на 42 страницах, включающей 16 рисунков, 5 таблиц, списка литературы из 22 наименований, графической части на 6 листах формата А1.

Целью работы является разработка и проектирование сетевого блока питания постоянного напряжения, а также разработка методических рекомендаций к нему.

В первой части рассмотрены готовые решения, сформирована концепция разрабатываемого устройства и разработана структурная схема БП.

Во второй части произведена разработка электронной схемы, выбор элементов блока питания постоянного тока, а также произведено моделирование работы элементов системы.

В третьей части рассмотрена технология разработки печатной платы и также произведена разработка печатной платы.

Результатом выполнения бакалаврской работы является практическая реализация сетевого блока питания постоянного тока, который может применяться лабораторными стендами, используемыми при обучении.

Содержание

Введение.....	4
1 Постановка задачи.....	5
1.1 Поиск и анализ технических параметров аналогичных устройств	5
1.2 Критерии для разработки	9
1.3 Разработка структурной схемы	10
2 Конструкторское проектирование устройства.....	13
2.1 Разработка электронной схемы	13
2.2 Выбор элементов устройства.....	18
2.3 Моделирование работы элементов схемы.....	21
3 Технологический раздел.....	28
3.1 Технология разработки печатной платы	28
3.2 Разработка печатной платы.....	31
Заключение	40
Список используемой литературы	41

Введение

Блок питания - один из самых важных компонентов любого устройства. Источники питания критически важны, поскольку они обеспечивают питанием все части системы. К сожалению, по статистике блоки питания являются одними из наименее надежных компонентов в системе устройства и выходят из строя чаще, чем другое оборудование. Часто это происходит потому, что многие производители используют самые дешевые блоки питания. Неисправные блоки питания не только препятствуют стабильной работе системы, но и могут повредить компоненты устройства.

Рассмотренные источники питания постоянного тока преобразуют электрическую энергию из одного напряжения переменного тока в другое напряжение постоянного тока, стабилизируют постоянный ток и создают импульсную систему автоматического управления. Такие преобразователи содержат ключевые элементы и схемы управления (модуляторы), которые изменяют частоту импульсов на их входе, а также катушки и конденсаторы (демодуляторы), которые являются аккумуляторами энергии и действуют как сглаживающие фильтры.

Помимо трансформатора, блок БП включает в себя выпрямитель тока и стабилизатор. Выходное напряжение в пределах номинальной мощности блока не зависит от потребляемой им нагрузки. Это означает, что сколько бы потребителей ни было подключено и какую бы мощность они ни потребляли, напряжение, выдаваемое блоком питания, будет оставаться постоянным. Кроме того, на выходные параметры БП практически не влияют колебания сети, что защищает устройство от возможных перепадов напряжения.

Целью работы является разработка и проектирование сетевого блока питания постоянного напряжения, а также разработка методических рекомендаций к нему.

Работа состоит из пояснительной записки, включающей введение, три раздела, заключение и список используемой литературы.

1 Постановка задачи

1.1 Поиск и анализ технических параметров аналогичных устройств

Блок питания с вилкой 220В на 12В 1А открытый конец.

Производитель iRZ

На рисунке 1 представлен блок питания iRZ



Рисунок 1 - Блок питания с вилкой 220В на 12В 1А открытый конец

Блок питания «предназначен для питания устройств – 12 В 1000 мА. Может использоваться, как источник питания для модемов, роутеров и другого оборудования» [2]. Блок питания представляет собой пластиковый блок (80x44x29 мм) со шнуром и открытым концом. Открытый конец предназначается для подключения питания устройства от блока питания [11].

Блок питания «соответствует стандартам Европейского Союза к источникам потребления энергии ErP/EuP. Также, устройство соответствует различным стандартам безопасности, таким как IEC/EN60950-1 и стандартам EMC (Европейские стандарты электромагнитной совместимости)» [2].

Характеристики БП iRZ представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики БП iRZ

Защита и безопасность	
Защита от перегрузки по току	да
Защита от КЗ	да
Параметры электросети	
Входное напряжение	100-240В
Защита от перенапряжения	да
«Входная частота	50/60 Гц
Входной ток	300мА
Ток отсечки	10 мА
Выходное напряжение	12 В
Выходной ток	1000 мА
Сопротивление изоляции	Вход/выход: 5 МОм (500VDC)
Пульсация выходного сигнала	150 мВ
Рабочие температуры	не более, 40 °С
Относительная влажность	40 - 93 %
Энергопотребление	без нагрузки (Вход 115V 60HZ/230V 50 HZ) 0.3W или меньше
КПД	в рабочем режиме при номинальной нагрузке 500 мА (Вход 115V 60HZ/230V 50 HZ) 73,42% или больше» [2]

Блок питания ACC-PS02 12V 1A (MicroFit)

Используется для модемов АТМ-2.

Производитель iRZ.

Блок питания iRZ SFP1201000PE «предназначен для питания устройств – 12 В 1000 мА. Может использоваться, как источник питания для модемов, роутеров и другого оборудования. Питаемые устройства подключаются через разъем MicroFit» [2].

На рисунке 2 изображен блок питания ACC-PS02 12V 1A (MicroFit)



Рисунок 2 - питания ACC-PS02 12V 1A (MicroFit)

Блок питания iRZ SFP1201000PE «представляет собой пластиковый блок (80x44x29 мм) со шнуром и разъемом MicroFit.

Разъём MicroFit предназначен для подключения питания устройства от блока питания» [2].

Блок питания iRZ SFP1201000PE соответствует стандартам Европейского Союза к источникам потребления энергии ErP/EuP.

«Также, устройство соответствует различным стандартам безопасности, таким как IEC/EN60950-1 и стандартам EMC (Европейские стандарты электромагнитной совместимости)» [4].

Характеристики блока питания ACC-PS02 12V 1A (MicroFit) представлены в таблице 2

Таблица 2 - Характеристики блока питания ACC-PS02 12V 1A (MicroFit)

Защита и безопасность	
Защита от перегрузки по току	да
Защита от КЗ	да

Продолжение таблицы 2

Защита и безопасность	
Параметры электросети	
Входное напряжение	100-240В
Защита от перенапряжения	да
«Входная частота	50/60 Гц
Входной ток	300мА
Ток отсечки	10 мА
Выходное напряжение	12 В
Выходной ток	1000 мА
Сопротивление изоляции	Вход/выход: 5 МОм (500VDC)
Пульсация выходного сигнала	150 мВ
Рабочие температуры	не более, 40 °С
Относительная влажность	40 - 93 %
Энергопотребление	без нагрузки (Вход 115V 60HZ/230V 50 HZ) 0.3W или меньше
КПД	в рабочем режиме при номинальной нагрузке 500 мА (Вход 115V 60HZ/230V 50 HZ) 73,42% или больше» [2]

БП-1АМ Блок питания стабилизированный, ~220В/=12В,1А (таблица 3)

Блок питания стабилизированный, ~220В/=12В, 1А (1.2А - max)

(Рисунок 3).



Рисунок 3 - БП-1АМ

Таблица 3 - «Характеристики блока питания БП-1А-М

Номинальное переменное напряжение сети	220 В + 15В
Частота	50 Гц
Номинальный потребляемый от сети ток	0,10 А
Выходное напряжение	12 В + 0,2 В
Выходной ток при круглосуточной работе	1 А
Класс защиты от поражения эл.током	2
Вес	0,915
Напряжение пульсаций на выходе	10 В» [4]

«Источник электропитания БП-1АМ предназначен для питания электро-радиоаппаратуры выпрямленным стабилизированным напряжением 12 В, током не более 1А.

Рекомендуемые эксплуатационные режимы: интервал температур от + 5 С до +40 С, относительная влажность воздуха до 80%,

БП имеет электронную защиту от короткого замыкания на выходе» [5].

1.2 Критерии для разработки

Требования для разработки определяются назначением устройства, требованиями безопасности использования, ремонтпригодностью. Блок питания должен быть в виде переносного устройства [12].

Питание устройства должно быть выполнено о от сети 220В±10В; 50±1Гц [10].

«Для повышения надежности БП, при его разработке, необходимо:

- обеспечить легкие электрические, тепловые рабочие режимы деталей и материалов конструкции, их правильный выбор;
- обеспечить надежную защиту от внешних и внутренних дестабилизирующих факторов;
- обеспечить ремонтпригодность изделия, используя функционально-блочный метод конструирования» [5].

1.3 Разработка структурной схемы

Миниатюризация электронных устройств привела к созданию микросхем с сотнями, тысячами и даже миллионами электронных элементов. Поэтому почти все электронные устройства содержат микросхемы со стандартным напряжением питания 3,3 В или 5 В. Вспомогательные элементы также могут получать питание от 9 В постоянного тока до 12 В постоянного тока. Однако известно, что от настенной розетки подается напряжение 220 В переменного тока, 50 Гц. Если его подать непосредственно на низковольтные компоненты, такие как микросхемы, они мгновенно повреждаются [13].

Это говорит о том, что основная роль источника питания заключается в снижении напряжения до приемлемого уровня и преобразовании переменного тока в постоянный (выпрямление). Более того, этот уровень должен оставаться постоянным независимо от колебаний на входе (в розетке). В противном случае работа устройства будет нестабильной. Поэтому стабилизация уровня напряжения - еще одна важная роль блока питания.

Давайте рассмотрим, как работает блок питания:

Источник питания поступает в сетевой фильтр, задача которого - минимизировать помехи в сети (как на входе, так и на выходе), вызванные работой устройства.

Затем блок преобразует синусоидальное напряжение в импульсное постоянное напряжение, и в работу вступает сглаживающий фильтр.

На следующем этапе подключается инвертор для генерации прямоугольного высокочастотного сигнала. Обратная связь с инвертором осуществляется через блок управления.

Структурная схема блока питания показана на рисунке 4.

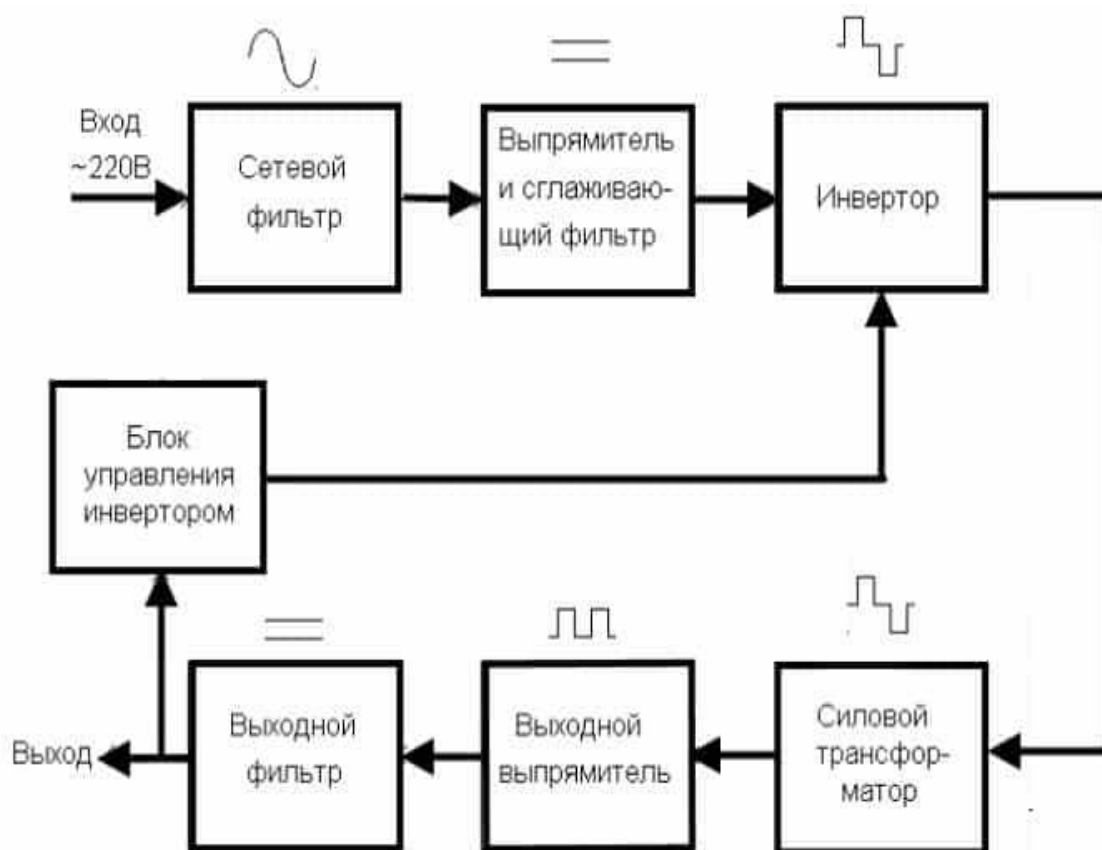


Рисунок 4 – Структурная схема блока питания

«Следующий блок – ИТ, он необходим для автоматического генераторного режима, подачи напряжения на цепи, защиты, управления контроллером, а также нагрузку. Помимо этого, в задачу ИТ входит обеспечение гальванической развязки между цепями высокого и низкого напряжения» [2].

Вывод по Разделу 1.

В данном разделе рассмотрены различные аналоги сетевых блоков питания постоянного напряжения.

Блок питания iRZ с вилкой 220В на 12В 1А открытый конец является универсальным, т.к. имеет «открытый конец», но, так же это является его главным недостатком [14].

Для того что бы использовать данный блок питания необходимо провести с ним дополнительные операции по присоединению к нему необходимого входа.

Блок питания iRZ SFP1201000PE является строго специализированного назначения и представляет собой решение для создания электрических соединений типа «кабель-кабель» (wire-to-wire) и «кабель-плата» (wire-to-board) [22].

Малогабаритный источник питания «БП-1АМ» используется для обеспечения систем охранно-пожарной сигнализации, систем видеонаблюдения, систем контроля доступа, электро-радиоаппаратуры, систем связи и других устройств стабилизированным напряжением 12 В и током до 1 А. Практически универсален в использовании [15].

Так же был произведен выбор критериев для разработки БП и была разработана структурная схема блока питания.

2 Конструкторское проектирование устройства

2.1 Разработка электронной схемы

«Исходя из заданных требований к разрабатываемому источнику питания, вполне оправданным является использование типичного линейного ИП. Разработаем структурную схему и дадим разъяснение блокам структурной схемы.

Структурная схема линейного ИП изображена на рисунке 5, содержит в своем составе:

- сетевой понижающий трансформатор Тр;
- выпрямитель В;
- фильтр Ф;
- стабилизатор Ст» [3].

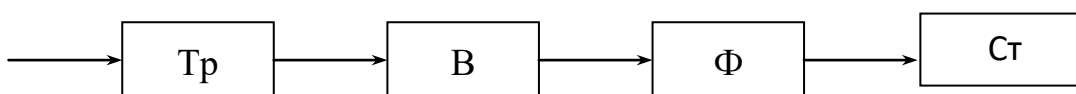


Рисунок 5 – Структурная схема линейного ИП

«Трансформатор - это статическое электромагнитное устройство, преобразующее электрическую энергию переменного тока одной системы в электрическую энергию переменного тока другой системы с различными параметрами.

Работа трансформатора основана на электромагнитном взаимодействии двух или более электрически не соединенных инертных обмоток. Когда одна из обмоток подключается к сети переменного тока, магнитное поле переменного тока наводит ЭДС в другой обмотке, которая магнитно связана с первой обмоткой. Для улучшения магнитной связи между обмотками

используются стальные магнитопроводы, собранные из специальных пластин электротехнической стали» [5].

«Трансформаторы малой мощности чрезвычайно разнообразны по своей конструкции. Их можно различать в зависимости от характеристик сердечника, обмоток и конструкции.

Материалом сердечника силовых трансформаторов обычно служит листовая электротехническая сталь различных марок и толщины. Уменьшение толщины стального листа снижает потери на вихревые токи. Увеличение содержания кремния в стали также снижает потери на вихревые токи и гистерезисные потери мощности в сердечнике трансформатора» [2].

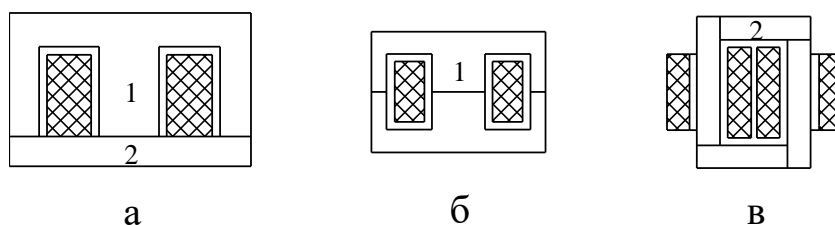


Рисунок 6 – Сердечники трансформаторов

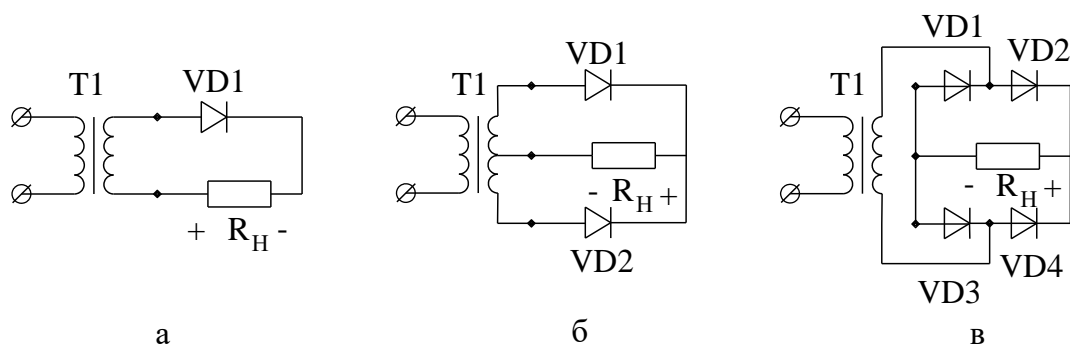
«На рисунке 6 приведены сердечники трансформаторов броневые (а, б) и стержневого (в) типов. Участки 1 сердечника, на которых размещены обмотки трансформаторов, называются стержнями, а участки 2, свободные от обмоток и соединяющие стержни в единую конструкцию, называются ярами.

Наиболее часто используемым сердечником в трансформаторах малой мощности является броневый сердечник. Этот сердечник собирается из отдельных W-образных пластин, обычно получаемых штамповкой. Пластины изолированы друг от друга слоем лака или оксидной пленки для уменьшения вихревых токов» [4].

«В броневом сердечнике обмотки располагаются на центральном стержне. Поскольку магнитный поток делится слева и справа, крайний

сердечник вдвое больше центрального. Поэтому сечение крайнего стержня в два раза меньше сечения центрального стержня.

Выпрямители - это устройства, преобразующие переменный ток в постоянный (выпрямление переменного тока) и служащие источниками питания для электронных схем в автоматах, приводах регулировки и системах автоматического управления техническими процессами. В зависимости от используемого элемента различают полупроводниковые (диоды или тиристоры), а также кенотроны, гастроны и тиристорные выпрямители. Выпрямительные схемы могут быть однофазными, трехфазными или многофазными, в зависимости от количества фаз, нагрузки на выпрямитель и требований к пульсациям тока выпрямителя, и различаются по количеству плеч. Плечо определяется как комбинация обмотки трансформатора и последовательно соединенного с ней выпрямительного устройства. На рисунке 7 изображены наиболее распространенные схемы выпрямителей» [2].



а – однофазная однополупериодная схема; б – однофазная двухполупериодная схема; в – однофазная мостовая схема выпрямления

Рисунок 7 – Схемы выпрямителей

«Однофазные полуволновые схемы (а) используют лишь часть мощности трансформатора и эффективность выпрямителя низка, поскольку выпрямленное напряжение имеет большую переменную составляющую, а диоды подвергаются высокому обратному напряжению.

Основным преимуществом схем с одним полупериодом является их простота. Недостатками являются большой размер и вес трансформатора и высокий коэффициент пульсаций.

Однофазные полуволновые выпрямители (б) имеют следующие преимущества перед однополупериодными: меньшие размеры трансформатора, вдвое меньший ток через вентиль, вдвое меньшая частота выпрямляемых пульсаций напряжения, меньшие размеры сглаживающих фильтров. К недостаткам относятся необходимость промежуточных выводов в обмотках трансформатора и использование двух вентилях вместо одного.

Схема однофазного мостового выпрямителя (в). Преимуществами этой системы являются малая мощность трансформатора, небольшие размеры и вес, а также низкое обратное напряжение на вентиле. Недостатками являются использование четырех затворов вместо одного или двух и высокое внутреннее сопротивление выпрямителя» [2].

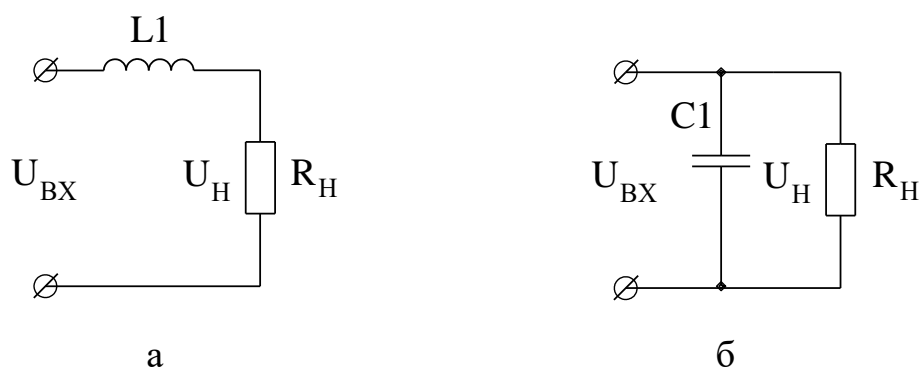
Колебания выпрямленного напряжения могут ухудшить работу радиоэлектронного оборудования или сделать ее полностью невозможной. Например, колебания выходного напряжения выпрямителя, подаваемого на передатчики, приемники и усилители, вызывают фон - звуковые колебания с частотой импульсов [16]. «Вибрация в электронно-лучевых трубках может вызвать периодические изменения яркости излучения, появление на экране электронно-лучевой трубки решеток, полос и т.д. Мерцание может привести к нарушению работы автоматических устройств и механизмов. Поэтому на выходе выпрямителя необходим сглаживающий фильтр для приведения колебаний выпрямленного напряжения к приемлемой величине, чтобы они практически не влияли на работу радиоэлектронной аппаратуры.

Помимо основного требования по обеспечению необходимого сглаживания, к фильтру предъявляются некоторые дополнительные требования:

- он не должен вызывать значительного ухудшения работы нагрузки, это особенно важно, когда нагрузка импульсная;

- фильтр не должен создавать значительных скачков напряжения или тока при включении и выключении выпрямителя или его нагрузки, чтобы избежать резонансных явлений, приводящих к резкому увеличению пульсаций напряжения выпрямителя;
- собственная частота фильтра должна существенно отличаться от основной частоты колебаний всего выпрямителя и его отдельных элементов. Потери мощности и падения постоянного напряжения в фильтре должны быть минимальными;
- высокая эксплуатационная надежность, малые габариты, малый вес и низкая стоимость» [3].

«Основные типы фильтров - индуктивные, емкостные и емкостно-индуктивные, подразделяются на фильтры Г-типа, П-типа и многопереходного типа, которые представляют собой комбинацию индуктивных и емкостных фильтров (рисунок 8).



а – индуктивный; б – емкостный

Рисунок 8 – Основные виды фильтров

Стабилизатор напряжения (тока) - это устройство, которое автоматически поддерживает напряжение (ток) нагрузки с определенной точностью.

Основными факторами нестабильности, вызывающими изменения напряжения (тока), являются колебания напряжения питания, изменения

потребляемой мощности нагрузки и колебания частоты сети переменного тока.

Поскольку напряжение сети и ток нагрузки изменяются, выходное напряжение выпрямителя также изменяется, иногда значительно. В некоторых случаях это вполне допустимо, например, в радиоприемниках, генераторах и другом электронном оборудовании, где напряжение должно оставаться постоянным, несмотря на изменения тока нагрузки. Именно в таких случаях стабилизаторы становятся необходимыми» [4].

Поэтому схема блока питания должна быть основана на схеме делителя напряжения со стабилизирующими элементами [17]. Выпрямительный мост также необходим для преобразования переменного тока в постоянный.

2.2 Выбор элементов устройства

Есть два способа получить подходящий трансформатор. Либо вы можете собрать свой собственный понижающий блок, либо выбрать подходящий трансформатор заводской сборки. В обоих случаях следует обратить внимание на следующее.

На выходе понижающего трансформатора вольтметр показывает эффективное напряжение (в 1,4 раза больше амплитудного напряжения).

На ненагруженном конденсаторе фильтра постоянное напряжение приблизительно равно амплитудному напряжению (говорят, что напряжение на конденсаторе «растет» в 1,4 раза больше амплитудного напряжения).

Без регулятора напряжение на конденсаторе падает в зависимости от тока при подаче нагрузки [18].

Регулятор должен обеспечивать определенный запас между входным и выходным напряжением, соотношение, которое ограничивает общую эффективность источника питания.

Если существуют готовые трансформаторы с подходящими вторичными обмотками по току и напряжению, то их можно достать.

Например, в серии ТПП есть подходящие изделия с вторичным напряжением, близким к 12 вольтам. Трансформаторы показаны в таблице 4.

Таблица 4 - Трансформаторы

Трансформатор	Обозначение выводов вторичной обмотки	Напряжение, В	Допустимый ток, А
ТПП48	11-12, 13-14, 15-16, 17-18	13,8	0,27
ТПП209	11-12, 13-15	11,5	0,0236
ТПП216	11-12, 13-14, 15-16, 17-18	11,5	0,072

Преимуществами такого решения являются минимальные усилия и надежность заводской конструкции. Недостатком является то, что такой трансформатор включает в себя и другие обмотки, размеры которых рассчитаны на нагрузку. Поэтому трансформатор проигрывает в весе и габаритах.

Выбор диодов и конструкция выпрямителя

Диоды в выпрямителе выбираются по трем параметрам:

- наибольшее допустимое прямое напряжение;
- наибольшее обратное напряжение;
- максимальный рабочий ток.

По первым двум параметрам 90% полупроводников подходят для 12-вольтовых цепей, и выбор в основном основывается на максимально допустимом непрерывном токе. Это также влияет на конструкцию корпуса диода и метод изготовления выпрямителя.

Если ток нагрузки не превышает 1 А, можно использовать зарубежные или отечественные «одноамперные диоды:

- 1N4001-1N4007;
- HER101-HER108;
- КД258 (“капелька”);
- КД212 и другие.

На меньшие токи (до 0,3 А) рассчитаны приборы КД105 (КД106). Все перечисленные диоды можно монтировать как вертикально, так и горизонтально на печатную или монтажную плату, или просто на штырьки. Радиаторов им не нужно» [5].

Емкость конденсатора.

Емкость конденсатора зависит от нагрузки и допустимых пульсаций. В Интернете можно найти формулы и онлайн-калькуляторы для точного расчета емкости [20]. Для практики можно обратиться к цифрам:

- для малых токов нагрузки (десятки миллиампер) следует использовать емкость 100.... 200 мкФ;
- для токов до 500 мА необходимо использовать конденсаторы емкостью 470... 560 мкФ;
- до 1 А - 1000.... 1500 мкФ.

При более высоких токах емкость увеличивается пропорционально. В целом, чем больше конденсатор, тем лучше. Емкость может быть увеличена настолько, насколько это возможно, ограничиваясь только размерами и стоимостью. Что касается напряжения, конденсатор должен иметь достаточный запас. Например, в 12-вольтовом выпрямителе лучше использовать 25-вольтовый элемент, чем 16-вольтовый.

Стабилизаторы на выходе источника питания не всегда необходимы. Например, если источник питания используется с аудиовоспроизводящим оборудованием, на выходе требуется стабилизированное напряжение. Если нагрузкой является нагреватель, стабилизатор абсолютно не нужен [21].

«Если решение об установке стабилизатора принято, то проще всего собрать его на специализированной микросхеме LM7812 (КР142ЕН5А). Схема включения проста и не требует наладки» [2].

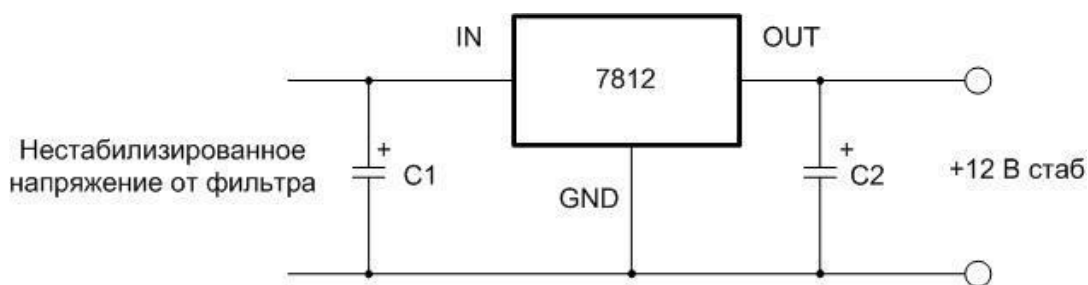


Рисунок 9 - Стабилизатор на 7812.

«На вход такого стабилизатора можно подавать напряжение от 15 до 35 вольт. На входе должен быть установлен конденсатор C1 емкостью не менее 0,33 мкФ, на выходе не менее 0,1 мкФ. В качестве C1 обычно выступает конденсатор блока фильтров, если длина соединительных проводов не превышает 7 см. Если такую длину выдержать не удастся, то потребуется установка отдельного элемента.

Микросхема 7812 имеет защиту от перегрева и короткого замыкания. Но она не любит переплюсовки на входе и подачи внешнего напряжения на выход – время ее в жизни в таких ситуациях исчисляется секундами» [2].

2.3 Моделирование работы элементов схемы

«Моделирование - это один из новых и мощных инструментов, который может значительно облегчить инженерные исследования и рабочую нагрузку. Моделирование позволяет определить характеристики схемы, режимы работы ее компонентов и выявить способы ее улучшения для выполнения требований технического задания, что в конечном итоге повышает качество и надежность проектируемого изделия» [5].

«Моделирование составленной схемы питания должно определить и проверить следующее:

- общая производительность разработанной схемы

- общие характеристики разработанной схемы, время нарастания установившегося напряжения при подаче на нагрузку номинального тока и величина пульсаций в этом режиме;
- диапазон входного напряжения;
- условия работы компонентов, используемых в схеме, должны быть сопоставлены с максимально допустимыми параметрами, указанными для каждого компонента» [4].

Для выполнения моделирования была выбрана программа WinSPICE 1.03.

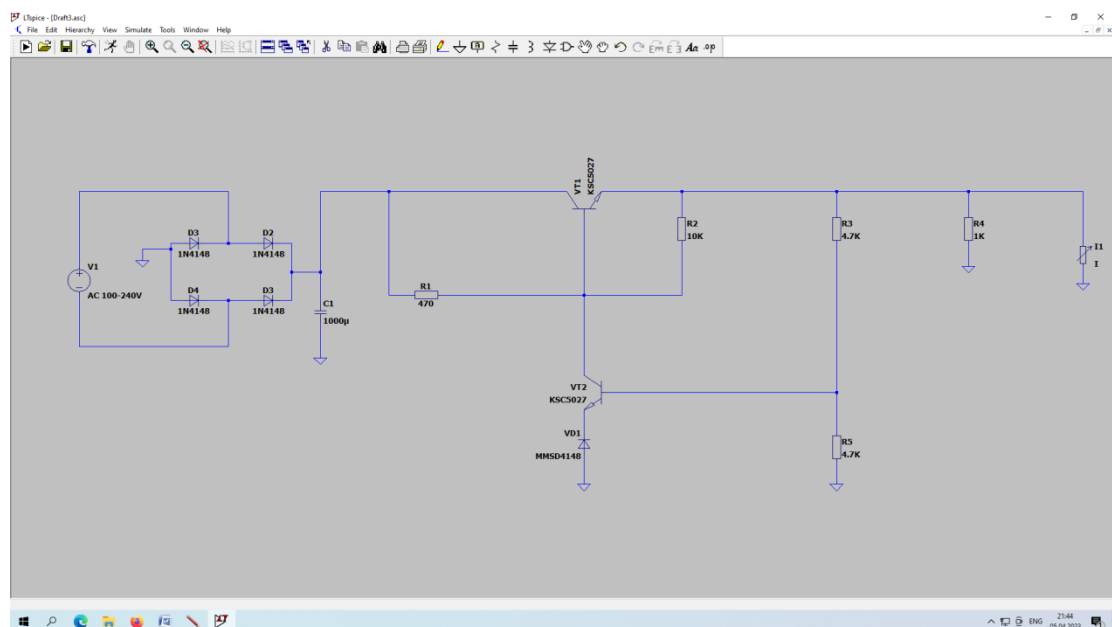


Рисунок 10 – модель, основанная на программе WinSPICE

«Общая проверка работоспособности. Схема моделируется во временной области с определением напряжения на выходе схемы при нагрузке, равной 200 Ом (соответствует номинальному току 45 мА при выходном напряжении 9 В). Входное напряжение -- синусоидальное, амплитудой 311 В, что соответствует действующему значению 220 В. Интервал моделирования должен быть достаточен для выхода схемы на установившийся режим» [6].

Результат моделирования представлен на рисунке 10

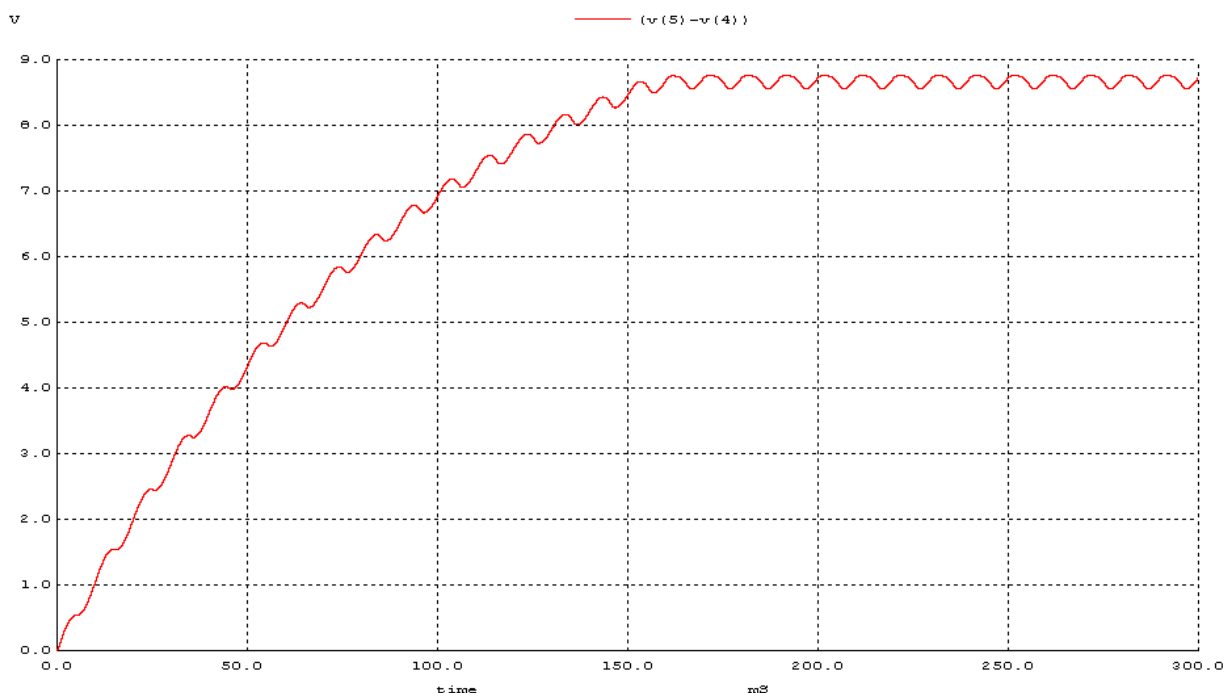


Рисунок - 11 Расчетная осциллограмма напряжения на выходе блока питания

«Как видно из приведенного рисунка 11, на выходе схемы при номинальной нагрузке формируется напряжение со средним значением около 8,65 В, что соответствует требованиям технического задания.

Время выхода на установившееся напряжение при номинальном токе. С использованием тех же параметров моделирования могут быть оценены значения времен выхода на установившийся режим и амплитуда пульсаций . Они составляют соответственно около 165 мс и менее 0,1 В, что соответствует требованиям технического задания» [9].

Данные к оценке амплитуды пульсаций и длительности выхода на установившийся режим показаны на рисунке 12.

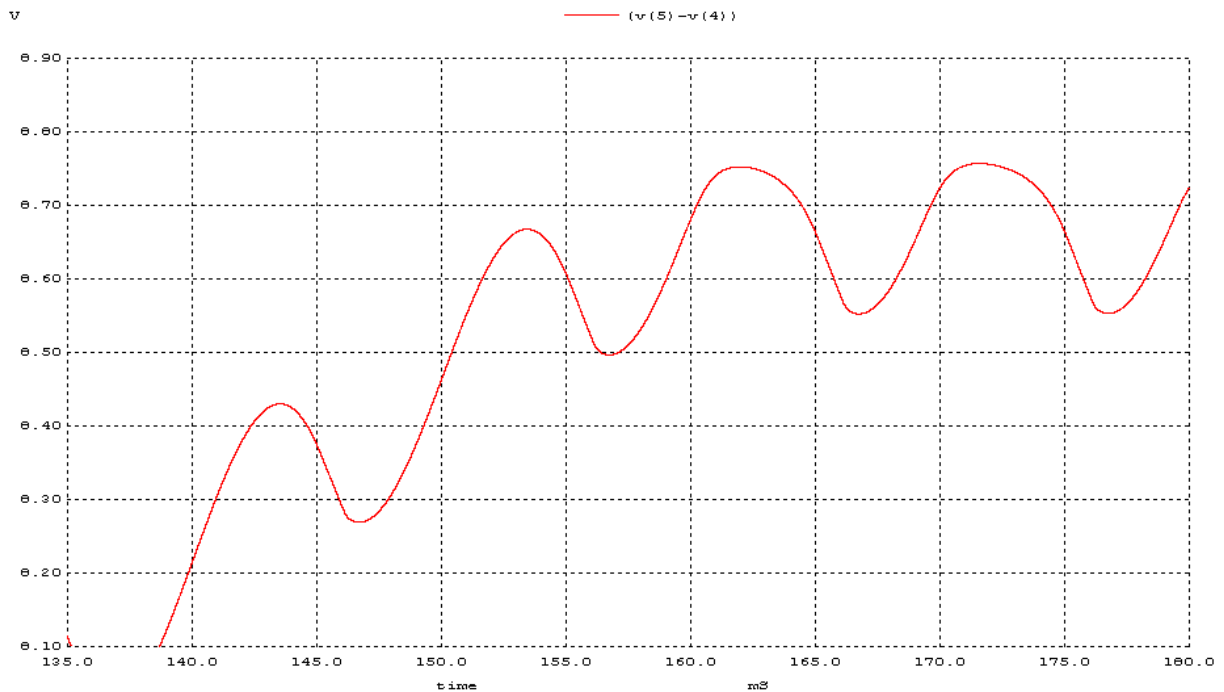


Рисунок 12 - К оценке амплитуды пульсаций и длительности выхода на установившийся режим

«Определение диапазона допустимых входных напряжений. Нижний предел входного напряжения определяется допустимой амплитудой пульсаций и требованием поместить среднее напряжение в диапазон 8,5-9 В. Более низкие напряжения питания увеличивают амплитуду пульсаций из-за меньшего удельного времени зарядки емкости С3. Различные моделирования показали, что когда амплитуда входного напряжения ниже 250 В (173 В эффективного), выходное напряжение при номинальной нагрузке сохраняет допустимую амплитуду пульсаций 0,11 В, но среднее напряжение ниже 8,5 В. Поэтому входное напряжение разрабатываемого источника питания составляет 173 В, что ниже спецификации 180 В»[9].

Увеличение напряжения питания приводит к уменьшению амплитуды пульсаций, что мало влияет на среднее выходное напряжение, но вызывает увеличение постоянного тока через диоды выпрямительного моста. Результаты моделирования показывают, что в первом временном интервале амплитуда прямого тока через диод D226A составляет около 88 мА, а

допустимое значение среднего прямого тока - 100 мА, которое не должно быть превышено для сохранения надежности функционирования схемы.

Данные по определению нижней границы диапазона входных напряжения показаны на рисунке 13.

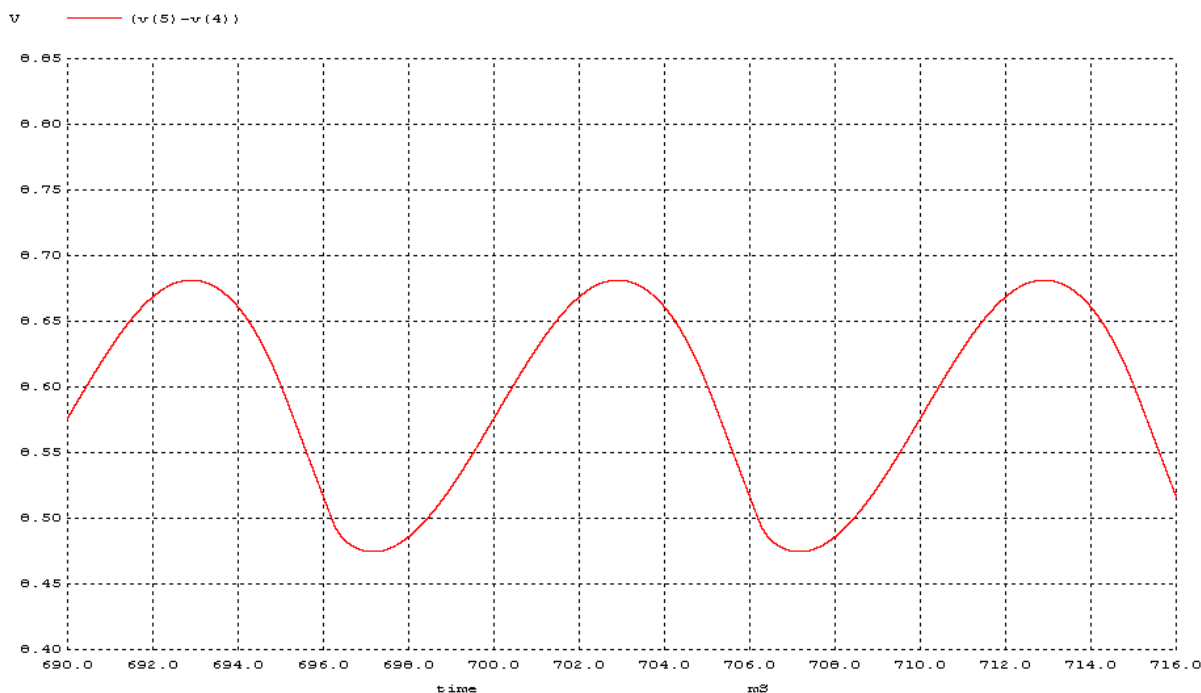


Рисунок 13 - К определению нижней границы диапазона входных напряжения

При амплитудном значении входного напряжения, равном 360 В (около 255 В эфф.) амплитудное значение прямого тока через диоды составляет чуть более 100 мА. Это значение выше заданной в техническом задании верхней границы - 250 В.

Данные по определению верхней границы диапазона входных напряжений показаны на рисунке 14.

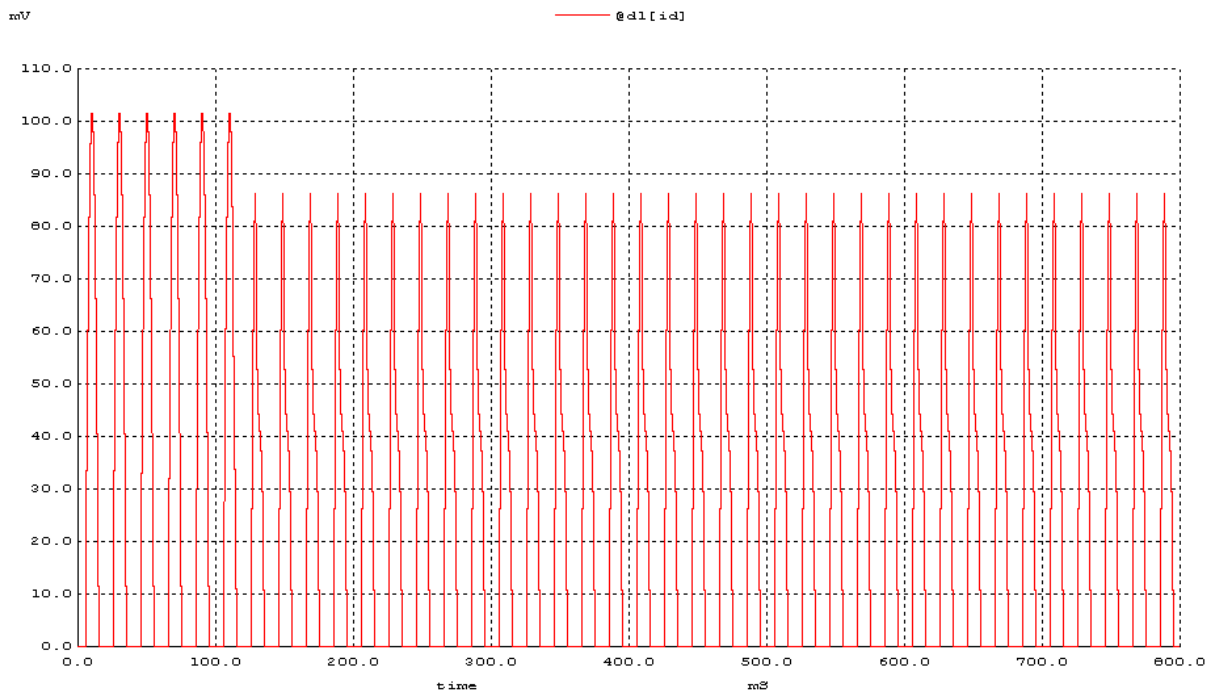


Рисунок 14 - К определению верхней границы диапазона входных напряжений

Таким образом, устройство с предложенной схемой удовлетворяет требованиям технического задания на проектирование в части выходных параметров.

«Определение рабочих режимов элементов. Для сравнения с предельно допустимыми значениями следует определить:

- для резисторов - среднюю выделяемую мощность;
- для конденсаторов - максимальное напряжение;
- для диодов - максимальный прямой ток и обратное напряжение;
- для стабилитронов - максимальный ток в режиме стабилизации.

Эти параметры были определены при номинальном входном напряжении. Они сведены в таблицу 5» [9].

Таблица 5 - Характеристики рабочих режимов радиоэлементов блоков питания

Обозначение в схеме	Параметр, единица измерения	Максимально допустимое значение	Значение по результатам моделирования
R1, R2	Средняя выделяемая мощность, Вт	0,125	0,025
R3	Средняя выделяемая мощность, Вт	2	1
C1, C2	Напряжение, В	250	151
C3	Напряжение, В	12	9,8
D1, D2	Обратное напряжение, В	400	9,2
	Прямой ток, мА	100	88
VD1, VD2	Ток в режиме стабилизации, мА	40	36,2

Из таблицы 5 следует, что все используемые в блоке питания элементы работают в допустимых режимах, что соответствует условию надежного функционирования устройства.

Моделируемая схема показана на рисунке 15.

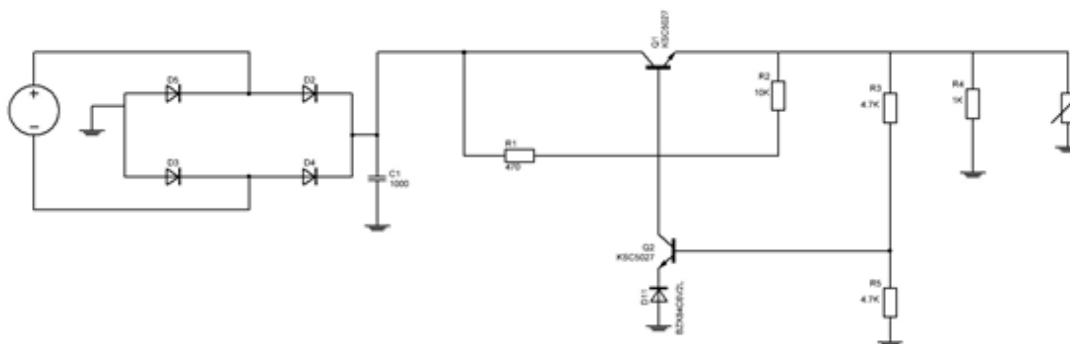


Рисунок 15 – Моделируемая схема

Вывод по Разделу 2.

В данном разделе было произведено конструкторское проектирование устройства, была разработана электронная схема, были выбраны элементы устройства, и было произведено моделирование работы элементов схемы.

3 Технологический раздел

3.1 Технология разработки печатной платы

Печатные платы условно делятся на три группы, и существуют различные их типы.

Односторонние печатные платы.

«Это изоляционные подложки с проводящим рисунком только на одной стороне. Они имеют неметаллические отверстия, позволяющие механическое крепление. Все проводники печатной платы заканчиваются контактными площадками, используемыми для соединения. Когда на таких платах пересекающиеся дорожки накладываются друг на друга, это решается путем установки шарнирной перемычки проводников.

Двухсторонние платы.

Одно основание, но с проводящими рисунками на обеих сторонах. Если электрические соединения должны быть выполнены с обеих сторон, используются металлизированные сквозные отверстия. При наличии перекрывающихся перекрестных соединений проблема может быть решена путем переноса перекрывающегося пути на противоположную сторону печатной платы.

Многослойные печатные платы.

Электрические соединения на многослойных печатных платах выполняются с помощью сквозных или глухих отверстий.

В многослойной печатной плате каждый слой играет свою роль:

- внешний монтажный слой используется для монтажа электронных компонентов.
- сигнальный слой содержит топологию сигнальных соединений.
- слои выполняют функцию рассеивания тепла и стабилизации.
- слои питания и заземления должны быть выполнены в виде больших многоугольников, чтобы минимизировать индуктивное и

омическое сопротивление. Эти слои используются в качестве электрических экранов, заземленных на высоких частотах с помощью развязывающих конденсаторов» [1].

Существует и другая классификация печатных плат. Различие проводится в зависимости от сложности печатной платы:

Гибкие печатные платы.

Эти подложки более тонкие и гибкие. Такие платы используются, когда есть необходимость соединить различные части электронного устройства, построенного на жестком основании. Гибкие подложки также используются в качестве оснований для антенн и катушек индуктивности.

Гибкие жесткие печатные платы.

В производстве этих плат используются технологии как гибких, так и жестких подложек. Многие компании не могут производить эти платы, поскольку они очень сложны в изготовлении.

Подложки с глухими винтами.

Что касается металлических подложек, то их можно разделить на следующие типы.

Металлические печатные платы.

Эти подложки рекомендуются для изделий, требующих высокой теплоотдачи. Чаще всего используются мощные SMD-светодиоды.

Микроволновые печатные платы.

Используются в оборудовании очень высокой частоты. В качестве основы часто используются материалы на основе ПТФЭ, такие как тефлон и фторполимеры.

Печатные монтажные платы для светодиодных решений.

Обычно применяются в светодиодной технике.

Печатные платы HDI [19].

Подложки имеют очень высокую плотность межсоединений.

Бесцветная, прозрачная технология печатных плат. Применяется в тех случаях, когда нормативные документы запрещают использование

материалов с высоким уровнем воздействия на окружающую среду. Одним из таких материалов является свинец. Бесцветная технология печатных плат означает, что свинец не используется.

Разработка печатной платы занимает длительное время и состоит из нескольких этапов. На протяжении всего цикла проектирования платы необходимо учитывать стандарты IPC, требования к производству и испытаниям, а также анализ теплового поведения устройства.

Как проектируется печатная плата.

Вы предоставляете исходные данные - спецификацию требований.

Для начала работы по проектированию печатной платы необходимы следующие данные:

- электрическая схема. Вы можете предоставить нам ее в любом виде и формате;
- список электронных компонентов со ссылкой на документацию, предоставленную производителем (спецификация), и указанием их расположения - в любом формате;
- чертеж компоновки корпуса с указанием размеров корпуса, конфигурации корпуса, монтажных отверстий, расположения гнезд, кнопок, высоты установки светодиодов, не отслеживаемых зон, зон, где компоненты не устанавливаются, ограниченной высоты установки и т.д.;
- информация, непосредственно связанная с трассировкой, например, количество слоев, параметры групп цепей (дифференциальные пары, сигналы синхронизации, высоковольтные цепи, цепи питания и т.д.), элементы с большими потерями мощности и т.д.

Далее создается библиотека компонентов.

Листы создаются в соответствии со стандартами JEDEC и IPC.

Выполняется предварительная сборка:

- компоненты размещаются в соответствии с требованиями;
- фиксируются компоненты со стабильным расположением;

- принимаются предложения по изменению размеров печатной платы.

Дальнейшие требования описаны в этом разделе.

На этом этапе уже можно увидеть 3D-модель платы. После согласования и подтверждения всех деталей с заказчиком можно приступить к отслеживанию платы.

Отслеживание платы:

- создание окончательного макета приборной панели;
- оптимизация соединений;
- задайте параметры схемы и правила маршрутизации;
- выполните маршрутизацию трасс.

Далее идет моделирование печатной платы:

- выполните анализ целостности сигнала;
- выполните анализ электромагнитной совместимости; 6;
- выполняется тепловое моделирование;
- выполняется анализ непрерывности питания.

Затем верификация печатной платы.

Технические специалисты проводят дополнительную проверку смоделированного устройства для уменьшения стохастических ошибок.

Немедленная поставка печатной платы.

Вся документация и файлы заполняются и доставляются заказчику.

3.2 Разработка печатной платы

«Определяем стандартные размеры элементов, которые применяются в схеме.

1. Получаем суммарную площадь $S_{\text{сум.}} = 1078,8 \text{ мм}^2$
2. Определяем установочную площадь всех элементов на плате, если $K_{\text{уст.}} = 1,2$; $K_{\text{уст}}$ - коэффициент установки.
 $S_{\text{уст.}} = S_{\text{сум.}} * 1,2$

$$S_{\text{уст}} = 1078,8 * 1,2 = 1294,56 \text{ мм}^2$$

3. Определяем площадь печатной платы, которая необходима для установки элементов с учетом расстояния между элементами и выводами, а также для обеспечения нормальных тепловых режимов работы по формуле $S_{\text{пов}} = S_{\text{уст}} / K_{\text{исп}}$, где $K_{\text{исп}}$ – коэффициент использования $K_{\text{исп}} = 0,9$

$$S_{\text{пов}} = 1438,4 \text{ мм}^2$$

4. Определяем площадь, необходимую для размещения элементов крепления. Принимаем, что плата устанавливается на четыре штифта. Площадь» [9]

$$S_{\text{шт.}} = 25 \text{ мм}^2 * 4 = 100 \text{ мм}^2$$

5. «Определяем общую площадь печатной платы

$$S_{\text{пл.общ.}} = S_{\text{уст}} + S_{\text{пов}} + S_{\text{шт.}} = 1294,56 + 1438,4 + 100 = 2852,96 \text{ мм}^2$$

6. Исходя из полученной площади, выбираем ширину платы $B = 35 \text{ мм}$, тогда длина платы

$$L = S_{\text{пл.общ.}} / B = 2852,96 / 35 = 81,5 \text{ мм}. \text{ Принимаем } L = 82 \text{ мм} \text{ (Рисунок 16).}$$

Расчет параметров металлизированных отверстий

1. Исходя из диаметров выводов элементов, которые устанавливаются на плату (табл.) определяем диаметр металлизированных отверстий, если толщина металлизированного покрытия при металлизации гальваническим методом $t_{\text{пок.}} = 0,005 \text{ мм}$. Зазор между выводом и стенкой металлизированного покрытия $K = 0,2 \text{ мм}$.

2. Элементы, которые устанавливаются, имеют следующие диаметры

ВЫВОДОВ:

$$d1=0,6\text{мм}$$

$$d2=0,6\text{мм}$$

$$d3=0,56\text{мм}$$

$$d4=0,55\text{мм}$$

$$d5=0,55\text{мм}$$

$$d6=0,6\text{мм}$$

3. Диаметры металлизированных отверстий вычисляем по формуле» [9]

$$d_{\text{отв } 1} = d1 + 2 * m_{\text{пок}} + 2 * K, d_{\text{отв } 1} = 0,6 + 2 * 0,05 + 2 * 0,2 = 1,1\text{мм}$$

$$d_{\text{отв } 2} = 0,6 + 0,5 = 1,1\text{мм}; d_{\text{отв } 3} = 0,56 + 0,5 = 1,06\text{мм}$$

$$d_{\text{отв } 4} = 0,55 + 0,5 = 1,05\text{мм}; d_{\text{отв } 5} = 0,55 + 0,5 = 1,05\text{мм}; d_{\text{отв } 6} = 0,6 + 0,5 = 1,1\text{мм}$$

4. Определяем параметры контактных площадок вокруг металлизированных отверстий. Контактные площадки выполняются в виде контактного кольца с обеих сторон платы. Необходимая радиальная величина $B=0,55\text{мм}$, технологический коэффициент на ошибку $C=0,1$, тогда $d_{\text{кп}1} = d_{\text{отв } 1} + 2 * B + C$

$$d_{\text{кп}1} = 1,1 + 1,2 = 2,3\text{мм}; d_{\text{кп}2} = 1,1 + 1,2 = 2,3\text{мм}$$

$$d_{\text{кп}3} = 1,06 + 1,2 = 2,26\text{мм}; d_{\text{кп}4} = 1,05 + 1,2 = 2,25\text{мм}$$

$$d_{\text{кп}5} = 1,05 + 1,2 = 2,25\text{мм}; d_{\text{кп}6} = 1,1 + 1,2 = 2,3\text{мм}$$

5. Исходя из полученных размеров металлизированных отверстий и диаметров выводов элементов выбираем технологически обусловленные размеры металлизированных отверстий.

Параметры конструкции печатной платы соответствуют требованиям, предъявляемым к печатной плате третьего класса точности:

- размеры каждой стороны печатной платы должны быть кратны 2,5 мм до длины 100 мм;
- минимальная ширина печатного проводника должна составлять 0,25 мм;
- минимальный диаметр гарантированной зоны вокруг отверстий - 0,1 мм.

6. Для данной печатной платы используется стеклотекстолит фольгированный двухсторонний толщиной 1,5 мм СФ-2-35-1,5.

Обоснование разводки печатной платы

«Разводка печатной платы - это процесс оптимизации размещения компонентов и ИС, установленных на печатной плате. Разводка должна оптимизировать плотность монтажа компонентов и избежать электрических помех, которые могут повлиять на характеристики изделия. Разметка может выполняться вручную или с помощью САПР. Ручная компоновка обычно выполняется путем создания шаблона компонентов, установленных на печатной плате, например, на бумаге. Шаблон создается в том же масштабе, что и чертеж печатной платы. Этот шаблон размещается на бумаге или аналогичной сетке, и элементы располагаются таким образом, чтобы длина соединительных проводов была минимальной. В результате для соединения всех элементов размещаются контактные площадки. Автоматическая компоновка осуществляется с помощью программного обеспечения P-CAD и графического редактора. Требования к размерам платы определяются производственным процессом: Размеры печатной платы должны быть экономически обоснованными (существуют значительные ограничения на размеры для стандартизации оснастки и приспособлений). Отклонения от прямоугольной формы и канавки в контуре приводят к удорожанию производства и неполному использованию сырья; размеры ПП должны соответствовать ГОСТ 10317-72, который рекомендует 74 типа плат с соотношением сторон от 1: 1 до 2: 1. Максимальная ширина не должна превышать 500 мм. Рекомендуемая толщина (мм): 0,8; 1; 1; 1,5; 2; 2,5; 3.

Монтаж печатной платы - это печатная плата, на которой смонтированы электронные и радиоэлементы» [8].

Если ЭРЭ имеет выводы, то они вставляются и припаиваются в отверстия на печатной плате; если ЭРЭ имеет плоские выводы, то они припаиваются к соответствующим перекрывающимся контактным площадкам. Штыревые выводы должны быть установлены на одной стороне печатной платы (или на стороне без фольги, если печатная плата имеет одностороннюю фольгу). «Это позволяет использовать высокоэффективные процессы пайки, такие как пайка волной. Пайка волной не может быть использована для плоских выводов. Поэтому они могут быть установлены на обеих сторонах печатной платы. В этом случае на одной печатной плате можно разместить больше компонентов, что позволяет повысить плотность сборки. При размещении ЭРЭ на печатных платах необходимо учитывать следующие моменты:

- 1) Полупроводники и микросхемы не следует размещать вблизи элементов, выделяющих большое количество тепла, или источников сильных магнитных полей (постоянные магниты, трансформаторы и т.д.);

- 2) Предусмотрите возможность конвекции воздуха в местах расположения элементов, выделяющих большое количество тепла;

- 3) должен быть обеспечен легкий доступ к предпочтительному элементу при регулировке схемы» [8].

Если элемент имеет токопроводящий корпус, а проводники проходят под корпусом, корпус и проводники должны быть изолированы. Изоляция может быть достигнута путем приклеивания трубки из изоляционного материала к корпусу элемента, нанесения тонкого слоя эпоксидной смолы на подложку в области корпуса (эпоксидная маска) или установки тонкой изоляционной прокладки на подложку. Такие параметры, как размеры, вес, надежность и помехоустойчивость, зависят от правильного расположения микросхемы на печатной плате.

«Расстояние между микросхемами зависит от требуемой плотности монтажа, температурного режима компонентов на печатной плате, метода разработки топологии печатной платы (ручной или машинный), типа корпуса и сложности электрической схемы. Рекомендуемое расстояние между микросхемами составляет 2,5 мм. Зазор между корпусами должен быть не менее 1,5 мм. Выводы выводятся с одной стороны платы, а провода продеваются через отверстия, выступающие с обратной стороны платы; корпуса ИС прочно крепятся к плате с помощью припаянных выводов и выдерживают практически все механические нагрузки.

Обоснование для трассировки печатной платы

Трассировка печатной платы - это процесс прокладки проводников, соединяющих площадки, таким образом, чтобы они имели минимальную длину и минимальное количество соединений с другими слоями для устранения наложений» [8].

«Чертежи печатных плат изготавливаются на бумаге с сеткой координат, расположенных с фиксированным интервалом. Сетка гарантирует, что размеры всех элементов, составляющих проводники печатной платы, будут соблюдены на чертеже. Эта сетка может использоваться для воспроизведения рисунка печатной платы при создании фотографических оригиналов, а также может быть создан шаблон для нанесения рисунка платы на заготовку. Координатная сетка наносится на чертеж с шагом 2,5 или 1,25 мм. Если плата содержит многоконтактные компоненты с шагом выводов 1,25 мм, будет использоваться шаг 1,25 мм. Если компонент на печатной плате имеет два или более выводов и расстояние между ними кратно шагу сетки, отверстия для всех этих выводов должны быть расположены в узлах сетки. Диаметр отверстий на печатной плате должен быть больше диаметра вставляемого вывода, чтобы электрорадиовыключатель можно было свободно установить; В неметаллизированные отверстия диаметром до 0,8 мм вставляются выводы диаметром более 0,2 мм, диаметром 0,8 мм - 0,3 мм и более» [8].

Диаметр металлизированного отверстия зависит от диаметра вставленной в него розетки и толщины платы. Это связано с тем, что при нанесении металла на стенки отверстий малого диаметра, выполненных на более толстых досках, толщина слоя металла может быть неравномерной, а большое отношение длины к диаметру может оставить некоторые участки незащищенными. Диаметр плакированных отверстий должен быть не менее половины толщины листа. Отверстия на листе должны быть расположены так, чтобы расстояние между краями отверстий было не меньше толщины листа. В противном случае перемычка между отверстиями не будет обладать достаточной механической прочностью.

Вокруг отверстий делаются контактные площадки для обеспечения надежного соединения металлизированных отверстий с проводником печатной платы. Рекомендуется, чтобы контактные площадки отверстий имели форму кольца.

Рекомендуется, чтобы печатные проводники имели прямоугольную форму и были параллельны линиям сетки.

Проводники должны иметь одинаковую общую ширину; если один или несколько проводников проходят через узкое место, ширина проводника может быть уменьшена. Длина уменьшенной ширины должна быть как можно короче.

«Обратите внимание, что более узкие проводники (шириной 0,3 - 0,4 мм) могут отделяться от изоляционного основания при небольших нагрузках. Если такие проводники длинные, через каждые 25-30 мм по длине проводника следует разместить металлизированные отверстия или местные расширения типа контактной площадки размером 1x1 мм или больше для увеличения сцепления между проводником и основанием. Если проводник проходит через узкое пространство между двумя отверстиями, его следует ориентировать перпендикулярно линии, соединяющей центры отверстий. Это обеспечит максимальную ширину проводника и максимальное расстояние между проводниками; экраны и проводники шириной более 5 мм следует

изготавливать с вырезами, так как при нагревании основания во время работы возможно газовыделение через изоляционную основу. Если проводник или экран слишком широкий, газ не будет выходить и вызовет вспенивание фольги. Части платы, через которые не должны проходить проводники печатной платы, обозначены пунктирными линиями и соответствующими примечаниями в спецификациях. Зенковки отверстий графически не показаны. В дополнение к вышеуказанным данным в спецификации чертежа должны быть указаны:» [8]

- номер ГОСТа или ТУ, которым должна соответствовать плата;
- шаги координатной сетки;
- указание гальванического покрытия проводников печатной платы, например, «PCB silver plated Cp9»;
- метод изготовления печатной платы.

Для поверхностей печатной платы, подвергающихся механической обработке в процессе производства (например, контуры печатной платы, отверстия, канавки), определяются критерии шероховатости.

Размеры на чертеже печатной платы указываются одним из следующих методов: размерные линии и выводные линии, расположение координатной сетки в прямоугольной или полярной системе координат, а также комбинированный метод.

При нанесении размеров на координатную сетку линии нумеруются: Проводники шириной более 2,5 мм можно вычерчивать двумя линиями, и если они совпадают с линиями координатной сетки, то цифры ширины на чертеже не указываются; отдельные элементы на чертежах печатных плат можно выделять штриховкой, наколкой. Круглые отверстия с зенковкой и круглые контактные площадки с круглыми отверстиями изображаются в виде одной окружности.

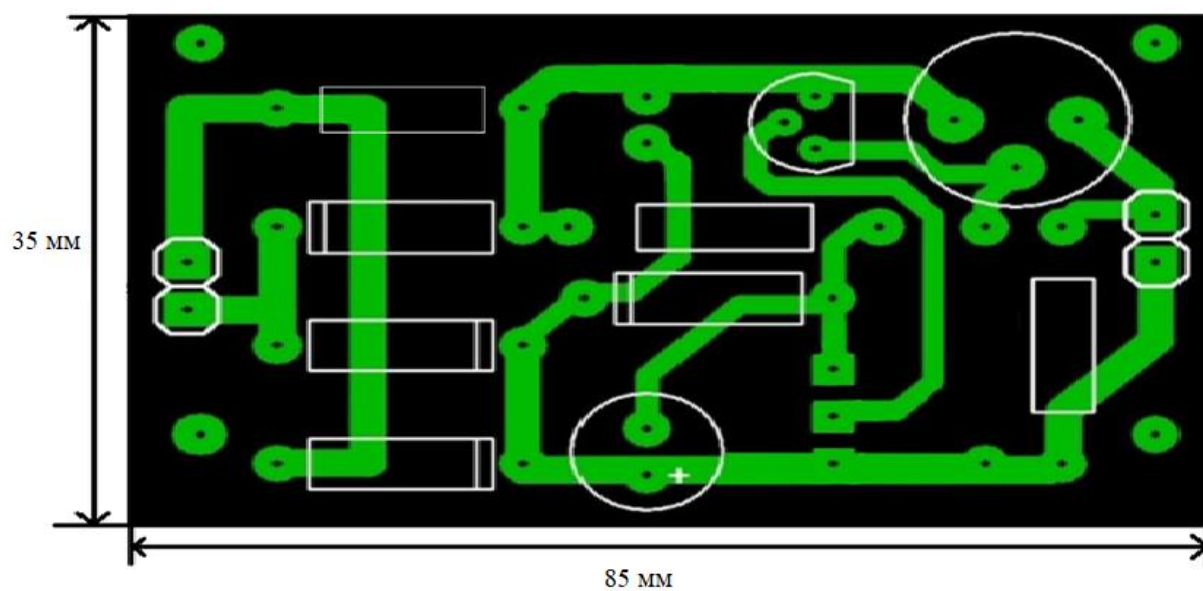


Рисунок 16 – печатная плата

Выводы по разделу 3.

В данном разделе были рассмотрены технологии разработки печатной платы, и была разработана собственная печатная плата.

Заключение

В данном проекте были рассмотрены готовые решения, сформирована концепция разрабатываемого устройства.

В первом разделе были рассмотрены различные аналоги сетевых блоков питания постоянного напряжения. Так же был произведен выбор критериев для разработки БП и была разработана структурная схема блока питания.

Так же в данной работе была произведена разработка электронной схемы, выбор элементов блока питания постоянного тока, а также произведено моделирование работы элементов системы. Была рассмотрена технология разработки печатной платы и также произведена разработка печатной платы.

Результатом выполнения этой бакалаврской работы является практическая реализация сетевого блока питания постоянного тока, который может применяться лабораторными стендами, используемыми при обучении.

Таким образом была достигнута цель выпускной квалификационной работы - разработка и проектирование сетевого блока питания постоянного напряжения, а также разработка методических рекомендаций к нему.

Были реализованы все поставленные задачи, а именно:

- выполнен поиск и анализ технических параметров аналогичных устройств;
- рассмотрены критерии для разработки;
- разработана структурная схема;
- разработана электронная схема;
- выбраны элементы устройства;
- произведено моделирование работы элементов схемы;
- рассмотрена технология разработки печатной платы;
- произведена разработка печатной платы.

Список используемой литературы

1. Браун М. Источники питания. Расчет и конструирование. М. : МК-пресс, 2007. 288 с.
2. Головкин А. В., Любичский В. Б. Блоки питания для системных модулей типа IBM PC-XT/AT. «Лад и Н». М. 1995.
3. Гребнев В. В. Микроконтроллеры семейства AVR фирмы Atmel. М. : ИП Радиософт, 2002. 176 с.
4. ДСТУ 3169 - 95 (ГОСТ 23585-79) – Монтаж электрической радиоэлектронной аппаратуры и приборов.
5. ДСТУ 3413-96 – Требования к электрическим бытовым сетям.
6. Костиков В. Г., Парфенов Е. М., Шахнов В. А. Источники электропитания электронных средств. М. : Горячая линия. Телеком. 2001.
7. Методические указания к дипломному проекту для студентов специальности “Радиотехника” / В. О. Дмитрук, В. В. Лысак, С. М. Савченко, В.И. Правда. К. : КПИ, 1993. 20 с.
8. Москатов Е. А. Источники питания. М.: Корона-Век, 2011. 208 с.
9. Парфенов Е. М. Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры. М. : Радио и связь. 1989.
10. Петриков В. М. Уроки радиотехники. СПб. : КОРОНА Принт, 2000.
11. Потишко А. В., Крушевская Д. П. Справочник по инженерной графике : Строитель. К. 1976.
12. Угрюмов Е. П. Цифровая схемотехника. СПб. : БХВ-Петербург, 2002.
13. Фрумкин Г. Д. Расчёт и конструирование радиоэлектронной аппаратуры. М. : Высшая школа. 1985.
14. Фрунзе А. В. Микроконтроллеры? Это же просто! Т.1. М. : ООО «ИД СКИМЕН», 2002. 336 с.
15. Хрулёв А. К., Черепанов В. П. Диоды и их зарубежные аналоги. Справочник. Т.2. : «РадиоСофт», М., 1998.

16. Хрулёв А. К., Черепанов В. П. Диоды и их зарубежные аналоги. Справочник. Т.1. : «РадиоСофт», М., 1998.
17. Gheorghe S., Tanasa C., Ene S., & Mihaescu M. Power quality, Energy efficiency and the performance in electricity distribution and supply companies. In 18th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution. Turin : IET. 2005.
18. Lance Irwin. Asset management benefits from a wide area power quality monitoring system. In 23rd International Conference on Electricity Distribution. Lyon: AIM. 2010.
19. Rusdy Hartungi, Liben Jiang. Investigation of Power Quality In Health Care Facility. In International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ' 10), Granada (Spain). 2010.
20. Ramos, MC Giacco and Tahan, CM Vieira. An Assessment of the Electric Power Quality and Electrical Installation Impacts on Medical Electrical Equipment Operations at Health Care Facilities - American Journal of Applied Sciences 6 (4), 2009, pp. 638-645.
21. Santarius P., Krejci P., Brunclik Z., Prochazka K., Kysnar F. Evaluation of power quality in regional distribution networks. In 23rd International Conference on Electricity Distribution. Lyon: AIM. 2015.
22. Zeeman K. and Wadoock V. Calculation PWM supply, 2004. [электронный ресурс]. URL: www.fairchild.com (дата обращения 12.03.2023г.).