



## Аннотация

Объем 59 страниц, 14 рисунков, 1 таблица, 25 источника и 6 графических представлений на листах формата А1.

Название дипломной работы: «Стабилизированный источник питания с регулируемой защитой».

Дипломная работа состоит из введения, двух разделов, заключения, таблицы, списка использованной литературы с учетом зарубежных источников и графической части на 6 листах формата А1.

Ключевым вопросом дипломной работы является проектирование стабилизированного источника питания с регулируемой защитой. Особое внимание уделяется обеспечению безопасности при эксплуатации созданного устройства.

Цель работы - улучшение качества жизни клиентов путем удовлетворения их потребностей в надежном и эффективно работающем устройстве.

Выпускную работу можно разделить на несколько логически связанных частей: анализ существующих источников питания; разработка электрической принципиальной схемы; выбор элементов схемы; расчет всех данных для определения мощности источника питания; проектирование и построение всех схем.

В заключение стоит отметить, что данная работа не только направлена на улучшение качества жизни клиентов, но также имеет преимущество в виде разработанного источника питания, содержащего минимальное количество деталей. Это особенно значимо, поскольку устройство с меньшим количеством компонентов имеет более простую конструкцию, что может способствовать снижению стоимости производства, повышению надежности и удобству в эксплуатации.

## ABSTRACT

The volume is 59 pages, 14 figures, 1 table, 25 sources and 6 graphical representations on A1 sheets.

The title of the graduation work is: "Stable power supply with adjustable protection".

The graduation work consists of an introduction, two chapters, a conclusion, a table, a list of used literature, taking into account foreign sources and a graphic part on 6 sheets of A1 format.

The key issue of the thesis is the design of a stabilized power supply with adjustable protection. Special attention is paid to ensuring safety during operation of the created device.

The aim of the work is to improve the quality of life of customers by meeting their needs for a reliable and efficient device.

The graduation work may be divided into several logically connected parts: analysis of existing power sources; development of an electrical circuit diagram; selection of circuit elements; calculation of all data to determine the power of the power source; design and construction of all circuit.

Finally, it is worth noting that this work is not only aimed at improving the quality of life of customers, but also has the advantage of a developed power supply containing a minimum number of parts. This is especially significant because a device with fewer components has a simpler design, which can help reduce production costs, increase reliability and ease of operation.

## Содержание

Введение.....	5
1 Состояние вопроса .....	7
1.1 Общие сведения .....	7
1.2 Аналоги.....	9
1.2.1 Линейный стабилизированный источник питания. ....	9
1.2.2 Импульсный стабилизированный источник питания .....	16
1.2.3 Лабораторный блок питания MAISHENG MS3010D.....	24
1.2.4 Лабораторный источник (блок) питания UnionTEST HY1503D .....	28
2 Разработка импульсного блока питания.....	32
2.1 Анализ возможных решений .....	32
2.2 Обзор выбранных компонентов .....	37
2.3 Расчет компонентов .....	49
2.4 Проектирование схемы стабилизированного блока питания.....	49
2.5 Проектирование печатной платы .....	55
Заключение .....	56
Список используемой литературы .....	57

## Введение

Стабилизированный источник питания с регулируемой защитой - это прибор, который обеспечивает постоянное напряжение или ток для электронных устройств, также имеет возможность регулировки и защиты от перегрузок и коротких замыканий.

Основная функция стабилизированного источника питания - поддерживать постоянное напряжение или ток на выходе, независимо от изменений входного напряжения или нагрузки. Регулировка обычно выполняется путем изменения сопротивления в цепи регулировки.

Защита стабилизированного источника питания состоит из защиты от перегрузок и коротких замыканий. Она обеспечивает безопасность для подключаемых устройств и может предотвратить повреждение как самого источника питания, так и электронных устройств, подключенных к нему.

Регулируемая защита может предоставлять дополнительные функции, такие как регулировка тока перегрузки или времени задержки перед включением защиты. Эти функции могут быть полезными для определенных устройств, где необходимо настроить источник питания на конкретные требования.

Источники питания с регулируемой защитой широко применяются в современных электронных устройствах, таких как компьютеры, телефоны, медицинские приборы и многие другие.

Более того, стабилизированные источники питания с регулируемой защитой могут использоваться в промышленности и производственных цехах для запитывания различных устройств и оборудования. В некоторых случаях, когда требуется высокая точность выходного напряжения или тока, используются источники питания с цифровым управлением.

В целом, стабилизированный источник питания с регулируемой защитой - это необходимый компонент для многих электронных устройств и производственных процессов. Выбор конкретного типа источника питания

зависит от требований определенного устройства и должен быть произведен с учетом всех необходимых параметров.

## **1 Состояние вопроса**

### **1.1 Общие сведения**

Существует несколько типов стабилизированных источников питания, такие как линейные и импульсные. Линейные источники питания обеспечивают высокое качество выходного напряжения, но они менее эффективны. Импульсные источники питания обеспечивают более высокую производительность, но они могут создавать помехи на выходе из-за высокой частоты коммутации. [3]

При выборе стабилизированного источника питания с регулируемой защитой важно учитывать требования к питанию подключаемых устройств и определять наиболее подходящий тип источника питания для конкретного модуля. Также необходимо убедиться с соответствием источника питания требованиям безопасности и качества.

Еще один важный фактор при выборе стабилизированного источника питания с регулируемой защитой - это его максимальная выходная мощность, которая должна соответствовать питанию подключаемых устройств. Также следует обратить внимание на количество и типы выходных разъемов, чтобы убедиться, что они подходят для конкретных устройств. [20]

Другие функции, которые могут быть полезны при выборе стабилизированного источника питания, включают защиту от перегрузок и коротких замыканий, функцию автоматической защиты от перегрузок и функцию регулировки выходного напряжения, тока.

Стоит также учитывать, что стабилизированные источники питания с регулируемой защитой могут иметь различные диапазоны входного напряжения, поэтому следует убедиться, что выбранный источник питания подходит для сети питания, используемой в конкретной схеме.

Одним из наиболее распространенных типов стабилизированных источников питания является источник питания на основе линейного регулятора напряжения. В этом типе источника питания регулировка производится путем установки определенного значения сопротивления настроечного резистора, что может быть неудобным для пользователя.

Другой тип стабилизированных источников питания - источник питания на основе импульсного преобразователя - обеспечивает более высокую эффективность, но может быть менее стабильным из-за проблем с электромагнитной совместимостью и шумом. В таких источниках питания используются различные схемы регулирования, такие как ШИМ, пиковая или плавающая регулировка.

Существуют также источники питания, основанные на многоканальных регуляторах напряжения. Они позволяют достигать высокой стабильности напряжения и могут использоваться для питания различных электронных устройств. [21]

Отдельно следует упомянуть защиту источников питания. Она может быть выполнена путем использования различных схем, таких как ограничение тока, защита от перенапряжения, защита от короткого замыкания и другие. При этом важно учитывать, что каждая схема имеет свои особенности и может не подходить для всех типов источников питания.

## **1.2 Аналоги**

### **1.2.1 Линейный стабилизированный источник питания**

Линейный стабилизированный источник питания (ЛИП) - это устройство, которое преобразует переменный ток из сети переменного тока (АС) в постоянный ток (DC) с постоянным напряжением. ЛИП использует линейный регулятор напряжения, который позволяет точно поддерживать стабильное выходное напряжение.

Основной принцип работы линейного стабилизированного источника питания (ЛИП) заключается в использовании управляемого элемента, который регулирует выходное напряжение в соответствии с изменением входного напряжения и нагрузки. Обычно этот элемент является транзистором, который работает в режиме насыщения или отсечки.

В ЛИП используется два ключевых элемента: трансформатор и регулятор напряжения. Трансформатор преобразует входное переменное напряжение в переменное напряжение с другим уровнем, а регулятор напряжения преобразует это напряжение в постоянное выходное напряжение.

Регулятор напряжения состоит из управляемого элемента и обратной связи. Обратная связь предоставляет информацию об уровне выходного напряжения и управляет управляемым элементом. Когда выходное напряжение ниже желаемого уровня, обратная связь увеличивает управляющее напряжение, чтобы управляемый элемент увеличил выходное напряжение. И наоборот, когда выходное напряжение выше желаемого уровня, обратная связь уменьшает управляющее напряжение, чтобы управляемый элемент уменьшил выходное напряжение.

Таким образом, принцип работы ЛИП заключается в поддержании постоянного выходного напряжения путем регулирования управляемого

элемента с помощью обратной связи. В результате, ЛИП обеспечивает стабильное, точное и чистое питание для различных электронных устройств.

Преимуществами линейного стабилизированного источника питания (ЛИП) являются:

- высокая точность: ЛИП может точно регулировать выходное напряжение с высокой точностью, что делает его идеальным для использования в устройствах, где требуется стабильное и точное напряжение;

- низкий уровень шума: ЛИП имеют малое количество шума, что позволяет использовать их в устройствах, где необходимо высокое качество питания;

- высокая стабильность: ЛИП обеспечивает стабильное выходное напряжение, что позволяет использовать их в приборах, где выходное напряжение должно быть постоянным;

- надежность: ЛИП имеют долгий срок службы и высокую надежность.

- большой диапазон выходных токов: ЛИП могут обеспечивать большой диапазон выходных токов, что позволяет использовать их в различных устройствах;

- малый уровень электромагнитных помех: ЛИП имеют низкий уровень электромагнитных помех, что позволяет использовать их в приборах, где требуется высокая стабильность и минимальные помехи.

В целом, ЛИП являются идеальным выбором для устройств, где требуется стабильное, точное и чистое питание, таких как звуковая аппаратура, аналоговые схемы, радиоэлектронные устройства и другие.

У линейных стабилизированных источников питания есть несколько недостатков, которые могут ограничивать их применение:

- низкий КПД: ЛИП имеют низкий КПД из-за потерь мощности в регулирующем элементе. Это означает, что для получения определенной выходной мощности, ЛИП потребляют больше энергии, чем импульсные стабилизированные источники питания;

– ограниченный диапазон входного напряжения: ЛИП могут работать только с ограниченным диапазоном входных напряжений. Если входное напряжение выходит за пределы этого диапазона, то ЛИП не сможет обеспечить требуемый выходной ток или напряжение;

– высокое тепловыделение: Из-за того, что регулирующий элемент работает в режиме насыщения или отсечки, ЛИП могут нагреваться при больших токах нагрузки. Это может привести к повышенному тепловыделению, которое требует дополнительной вентиляции или охлаждения;

– высокий уровень шума: ЛИП могут иметь высокий уровень шума на выходе, особенно при работе с низкими уровнями выходного напряжения. Это может быть нежелательным для некоторых устройств, таких как аудио- или видеоустройства;

– высокая стоимость: ЛИП могут быть более дорогими, чем импульсные стабилизированные источники питания, из-за более сложной конструкции и использования более крупных компонентов.

Все эти недостатки не делают линейные стабилизированные источники питания менее эффективными или надежными, однако они могут ограничивать их применение в некоторых устройствах.

Когда речь идет о создании надежного и эффективного источника питания для электронных устройств, линейная схема с регулируемым мощным стабилизатором является одним из наиболее популярных выборов. В этой схеме LM338 (рис.1) - это идеальный выбор для регулирования тока до 5 А на выходе. При необходимости повышения выходного тока, можно просто добавить еще несколько микросхем LM338, подключив их параллельно.

LM338 - это микросхема линейного стабилизатора напряжения, которая широко применяется в различных электронных устройствах в качестве регулируемого мощного стабилизатора. Она может обеспечивать стабилизацию выходного напряжения в диапазоне от 1,2 В до 32 В и ток до 5

А. Эта микросхема является усовершенствованной версией LM317 и имеет более высокую мощность и более широкий диапазон входного напряжения.

Основное преимущество LM338 заключается в ее высокой точности и стабильности. Она обеспечивает низкий уровень шума и пульсаций на выходе, что делает ее идеальной для использования в чувствительных электронных приборах, таких как радиоприемники и усилители.

Кроме того, LM338 имеет защиту от перегрузки, короткого замыкания и перегрева. Эта защита позволяет избежать повреждения микросхемы в случае возникновения неполадок в электрической сети или при неадекватном использовании.

В целом, LM338 является надежной и универсальной микросхемой, которая может использоваться для построения различных стабилизированных источников питания. Ее высокая мощность и точность делают ее идеальной для использования в качестве регулируемого стабилизатора питания для многих электронных устройств. На рисунке 1 изображена микросхема LM338.

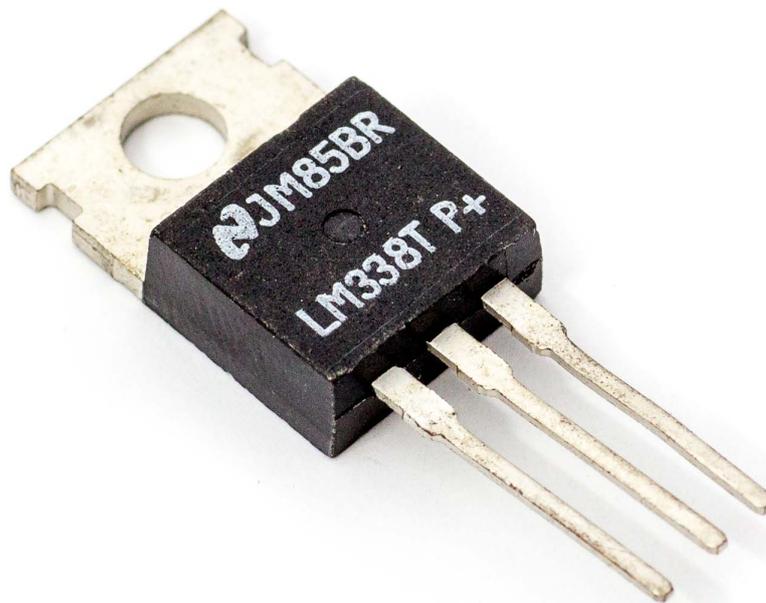


Рисунок 1 – LM338

Однако, при создании такого блока питания, необходимо учитывать некоторые важные моменты, которые могут оказаться дорогостоящими. Например, для обеспечения достаточного тока на выходе, нужен понижающий трансформатор, который может быть довольно дорогим компонентом. Также важно обеспечить надежный теплоотвод для стабилизаторов, чтобы они не перегревались при работе в режиме максимальной мощности.

В целом, создание линейной схемы с регулируемым мощным стабилизатором - это сложный процесс, который требует определенных знаний и опыта. Однако, если все сделать правильно, можно получить очень надежный и эффективный источник питания, который будет служить долгое время. На рисунке 2 представлена электрическая принципиальная схема.

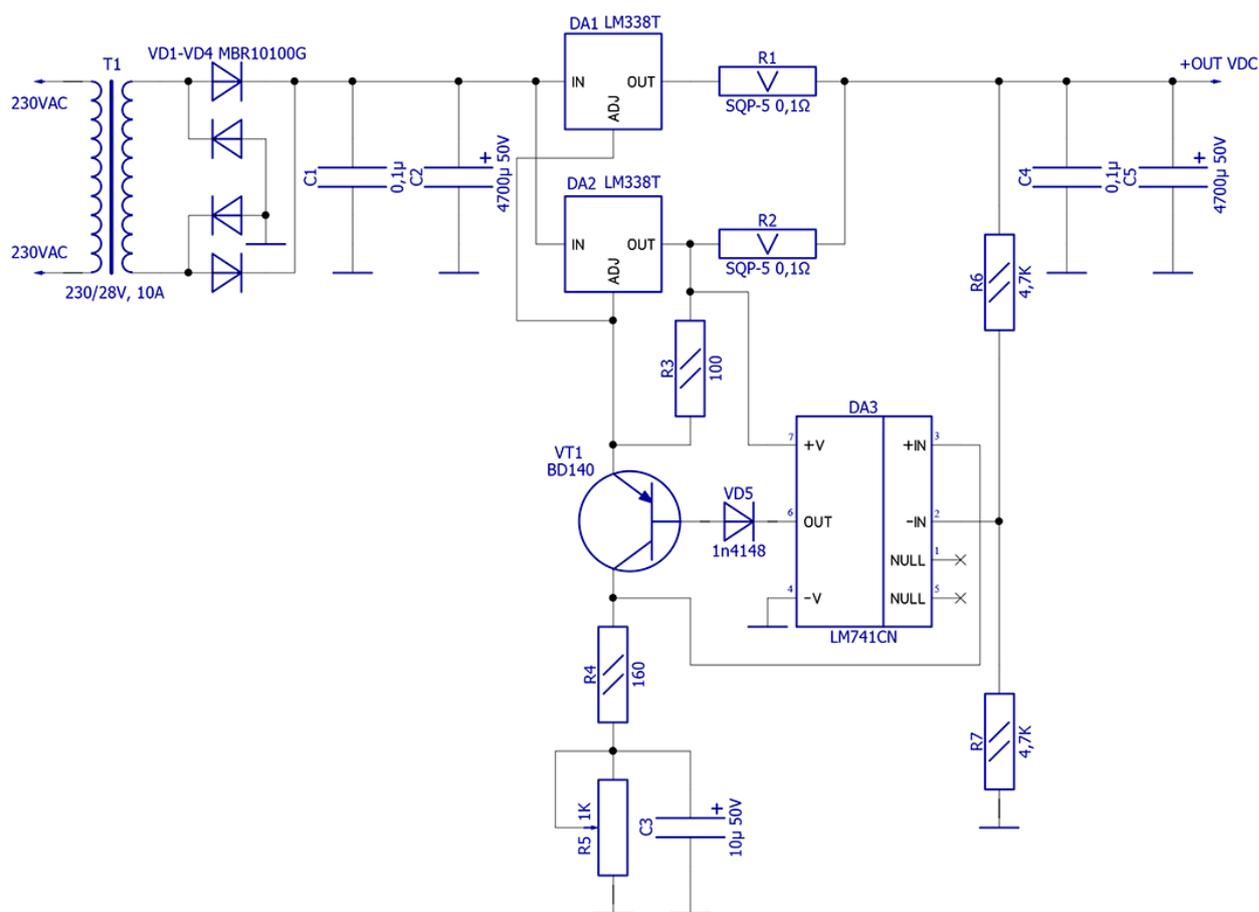


Рисунок 2 – Схема электрическая принципиальная линейного стабилизированного блока питания 4...30 В, I=10 А

Для построения надежного и эффективного источника питания для электронных устройств, был использован тороидальный трансформатор мощностью 300 Вт, который обеспечивает понижение напряжения до 28 В. Он был выбран как наиболее оптимальный для данного блока питания.

Для выпрямления переменного напряжения использовались диоды Шоттки MBR10100G, которые имеют высокую долговременную нагрузочную способность в 10 А. Корпуса этих диодов имеют форму ТО-220-2, что упрощает задачу выбора охлаждающего радиатора для их установки.

Для теплоотвода от моста выпрямительных диодов была использована дюралюминиевая пластина толщиной 4 мм размерами 50×50 мм. Этот

материал является отличным теплопроводником и обеспечивает эффективное отведение тепла от моста, предотвращая его перегрев.

В результате использования этих компонентов, был построен надежный и эффективный блок питания с хорошими показателями стабильности выходного напряжения и тока. Данная конструкция блока питания может использоваться в различных электронных устройствах и обеспечивает долгую и надежную работу.

Стабилизаторы DA1 и DA2 соединены параллельно, что позволяет повысить общую мощность и надежность работы схемы. Выходное напряжение снимается с помощью двух мощных низкоомных резисторов R1 и R2, которые гарантируют точность и стабильность сигнала. Для регулировки выходного напряжения используется переменный резистор R5, который позволяет изменять силу тока и, следовательно, выходное напряжение.

Чтобы улучшить стабильность выходного напряжения и быстродействие при изменении нагрузки, была применена схема регулировки на транзисторное устройство VT1 и операционный усилитель DA3. Операционный усилитель DA3 управляет током базы транзистора VT1, изменяя сопротивление перехода К-Э. Таким образом, DA3 поддерживает равенство значений напряжения на своих входах, полученных от выходного делителя R6 и R7, а также с переменного сопротивления R5, и при необходимости изменяет выходное напряжение.

Эта схема регулировки позволяет добиться высокой стабильности выходного напряжения, что особенно важно в приборах, где необходима точность измерений. Кроме того, применение транзисторного устройства VT1 и операционного усилителя DA3 обеспечивает быстродействие и устойчивость работы схемы при изменении нагрузки. Все это делает данную схему стабилизатора надежной и эффективной для широкого круга устройств. На рисунке 3 изображена печатная плата.

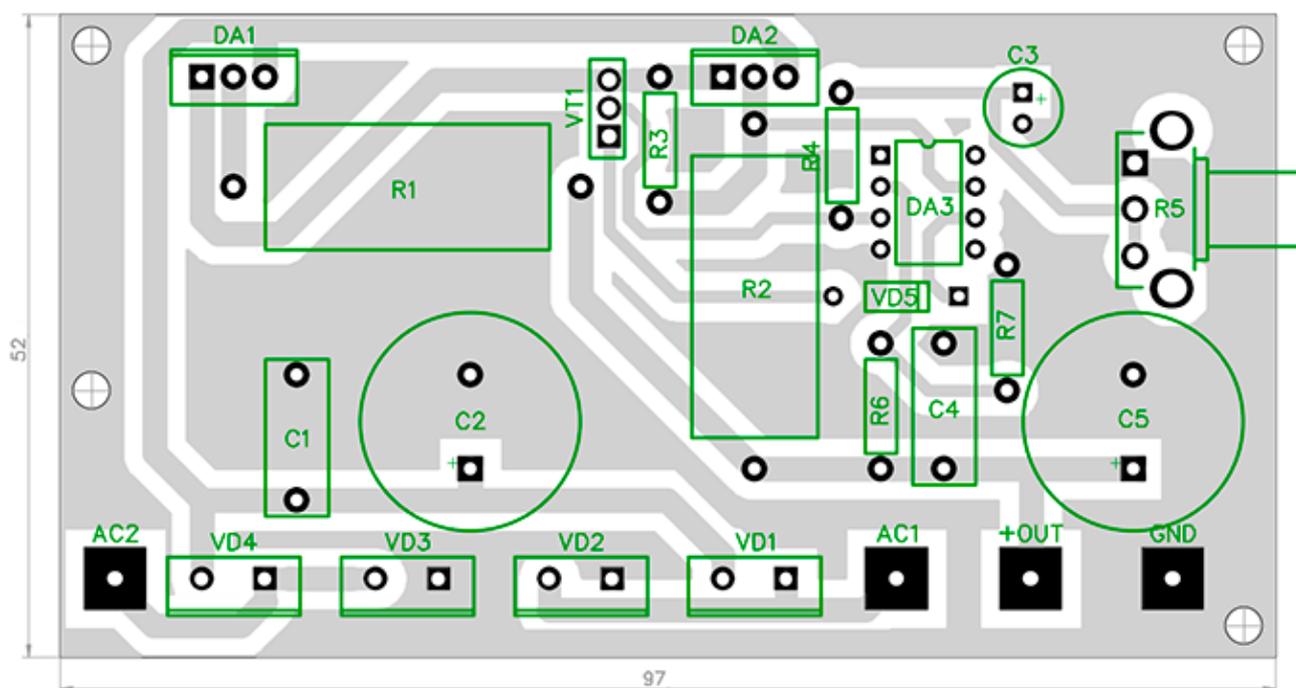


Рисунок 3 – Печатная плата

Представленный на рисунке вариант печатной платы является оптимальным для данной схемы. Для обеспечения эффективного охлаждения стабилизаторов необходимо использовать радиатор площадью не менее 400 квадратных сантиметров. Все элементы схемы должны быть надежно закреплены на теплоотводе с помощью изоляционных подложек. При правильном монтаже и исправных деталях, наладка схемы не требуется.

### 1.2.2 Импульсный стабилизированный источник питания

Импульсный стабилизированный источник питания - это устройство, которое преобразует переменный ток (AC) в постоянный ток (DC) и стабилизирует его напряжение. Это достигается путем использования высокочастотного ключевого преобразователя, который создает электрические импульсы, которые затем преобразуются в постоянный ток. Эта технология обеспечивает более высокую эффективность, меньший

размер и более легкий вес по сравнению с традиционными источниками питания. [15]

Основным принципом работы импульсного стабилизированного источника питания является преобразование высокочастотного напряжения в постоянное напряжение с помощью комбинации полупроводниковых элементов, таких как диоды, транзисторы и конденсаторы.

Сначала сетевое напряжение преобразуется в переменное высокочастотное напряжение с помощью трансформатора и выпрямляется с помощью диодного моста. Затем это переменное напряжение преобразуется в постоянное напряжение с помощью фильтрующего конденсатора.

Для стабилизации выходного напряжения используется обратная связь, которая сравнивает выходное напряжение с эталонным и регулирует работу устройства, чтобы достичь заданного значения напряжения на выходе. [24]

Импульсные стабилизированные источники питания имеют несколько преимуществ по сравнению с традиционными линейными стабилизированными источниками питания:

- более высокая эффективность: Импульсные источники питания имеют более высокую эффективность, так как они используют комбинацию высокочастотного преобразования и фильтрации, что позволяет сократить потери энергии и увеличить КПД;

- меньший размер и вес: Импульсные источники питания имеют более компактный дизайн и меньший вес по сравнению с линейными источниками питания той же мощности. Это делает их более удобными для транспортировки и установки в ограниченном пространстве;

- широкий диапазон входных напряжений: Импульсные источники питания могут работать с широким диапазоном входных напряжений, что делает их удобными для использования в различных условиях питания;

- низкие уровни шума и искажений: Импульсные источники питания могут обеспечить более чистое и стабильное питание, чем линейные

источники питания. Это особенно важно для устройств, требующих низких уровней шума и искажений;

– низкие затраты на производство: Импульсные источники питания имеют более простую конструкцию и требуют меньше материалов для производства по сравнению с линейными источниками питания, что делает их более выгодными в производстве.

Несмотря на преимущества, у импульсных стабилизированных источников питания есть и некоторые недостатки:

– высокий уровень электромагнитных помех: Импульсные источники питания могут генерировать высокий уровень электромагнитных помех, которые могут повлиять на работу других электронных устройств, работающих в том же пространстве;

– большие уровни выходного шума: Импульсные источники питания могут иметь более высокие уровни выходного шума, что может снижать качество сигналов или искажать передачу данных в некоторых устройствах;

– более сложный дизайн: Импульсные источники питания имеют более сложный дизайн, чем линейные источники питания, и могут требовать более сложной настройки и обслуживания;

– большие пульсации тока: Импульсные источники питания могут генерировать большие пульсации тока, что может быть проблемой для некоторых устройств и устройств, особенно если они требуют более стабильного питания;

– ограниченная надежность: Импульсные источники питания имеют более сложный дизайн и могут быть более подвержены сбоям, чем более простые линейные источники питания.

На рисунке 4 изображена электрическая принципиальная схема.

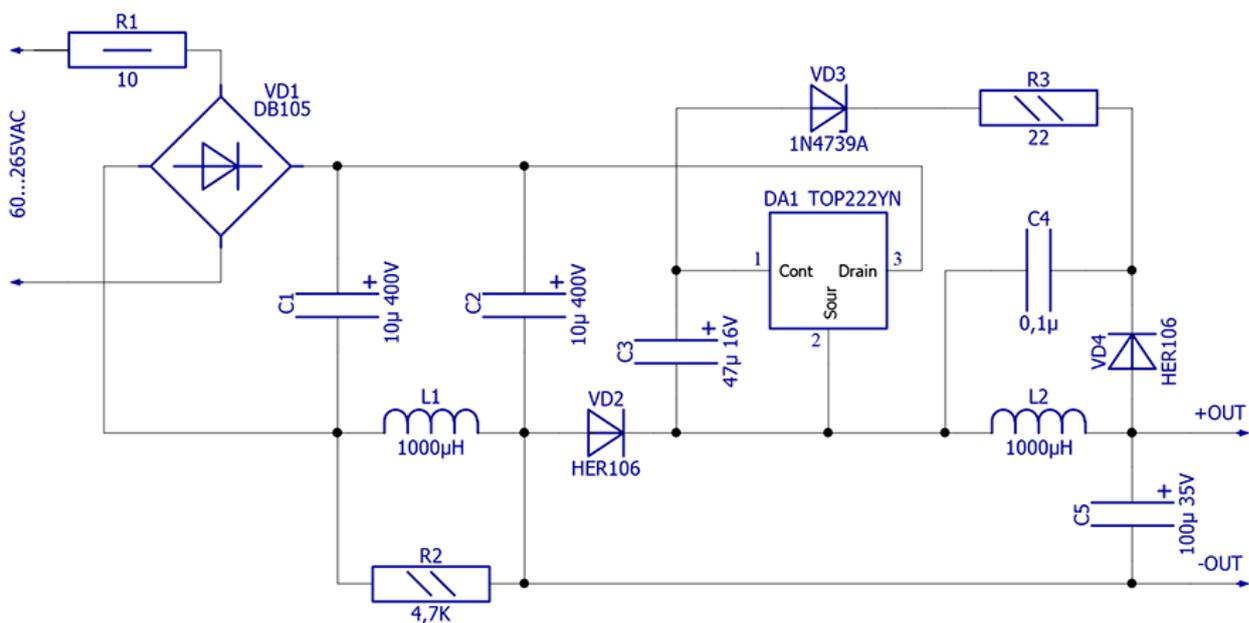


Рисунок 4 – Схема электрическая принципиальная импульсного стабилизированного блока питания

Представляемый вариант блока питания обладает особыми характеристиками, позволяющими ему поддерживать стабильное выходное напряжение даже при изменении входного напряжения в широких пределах. Этот блок питания идеально подходит для питания различных нагрузок, которые не требуют гальванической развязки от электросети. Благодаря его уникальным свойствам, он может успешно заменить батареи, которые обычно используются для питания гальванических или аккумуляторных устройств.

По сравнению с другими блоками питания, данный вариант обладает уникальной способностью автоматически подстраиваться под изменение напряжения входного сигнала, что позволяет обеспечивать стабильное питание даже в условиях нестабильности электросети. Таким образом, этот блок питания является надежным и эффективным решением для различных устройств, которые работают с постоянным напряжением.

На рисунке 5 изображена микросхема TOP222Y.

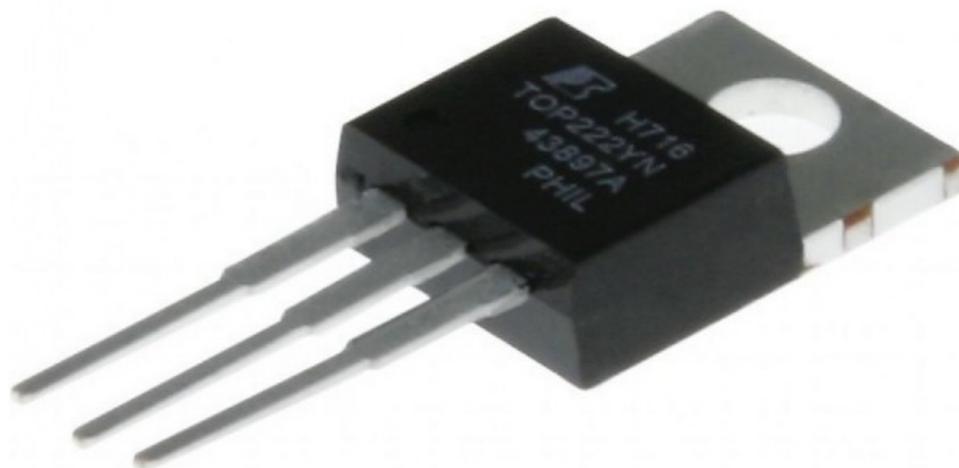


Рисунок 5 – Микросхема TOP222Y

Микросхема TOP222Y (DA1) - это интегральная схема, предназначенная для создания источников питания с переменным током. Она используется в различных электронных устройствах, включая блоки питания для персональных компьютеров, телевизоров, мониторов, аудиосистем, и других электронных устройств.

TOP222Y (DA1) работает на основе принципа широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Она имеет встроенный осциллятор и контроллер, который регулирует выходное напряжение и ток. Микросхема также содержит встроенные защитные механизмы, такие как защита от короткого замыкания и перегрузки.

Основные параметры TOP222Y (DA1) включают входное напряжение от 9 до 25 В, выходное напряжение от 5 до 24 В и максимальный выходной ток до 1,5 А. Она также обладает высокой эффективностью, которая может достигать до 89%.[25]

Микросхема TOP222Y (DA1) имеет небольшой размер и может быть легко установлена на печатные платы. Она также является экономичным решением для создания источников питания с переменным током в различных устройствах.

Для ограничения пускового тока в устройстве используется резистор R1. Диодный мост VD1 выпрямляет переменное напряжение сети, а фильтр C1C2L1 сглаживает его. Резистор R2 в свою очередь снижает добротность контура, образованного индуктивностью дросселя L1 и конструктивной емкостью.

Вся оставшаяся часть устройства является импульсным стабилизированным понижающим преобразователем (ИСПП), который был разработан фирмой Power Integrations. Он основан на микросхеме TOP222Y (DA1), которая относится к семейству TOPSwitch-II.

Входное напряжение ИСПП может изменяться в широком диапазоне от 38 до 375 В, однако выходное напряжение всегда остается стабильным в пределах 5% от номинального значения 15 В при любом допустимом токе нагрузки. Благодаря высокой эффективности и небольшим размерам, устройство на основе TOP222Y (DA1) является надежным и экономичным решением для создания источников питания с переменным током в различных электронных устройствах.

Используемая в данном устройстве микросхема работает необычным образом. На старте цикла преобразования, выходной MOSFET-транзистор микросхемы открывается, а его сток соединен с выводом 3, а исток - с выводом 2. Диод VD2 на этом этапе закрыт. Ток через дроссель L2 нарастает линейно и заряжает конденсатор C5. Магнитопровод этого дросселя аккумулирует энергию. При управлении ШИ контроллером, выходной

транзистор микросхемы закрывается, а диод VD2 открывается, передавая энергию, накопленную дросселем L2, в нагрузку и также подзаряжая конденсатор C5. В то же время, импульс напряжения на дросселе L2 поглощается, что защищает выходной транзистор от возможного пробоя.

Из выпрямителя VD4C4 генерируется обратная связь для регулировки выходного напряжения. Оно складывается из образцового напряжения 5,7 В, создаваемого внутренним источником микросхемы, и напряжения стабилизации, которое обеспечивает стабилитрон VD3. ШИ контроллер управляет количеством передаваемой энергии на выходе. При снижении тока нагрузки ниже 75 мА устройство переходит в прерывистый режим, что может вызвать пульсации выходного напряжения. Если требуется уменьшить минимальный допустимый ток нагрузки до 25 мА, то можно увеличить индуктивность дросселя L2. На рисунке 6 представлена печатная плата.

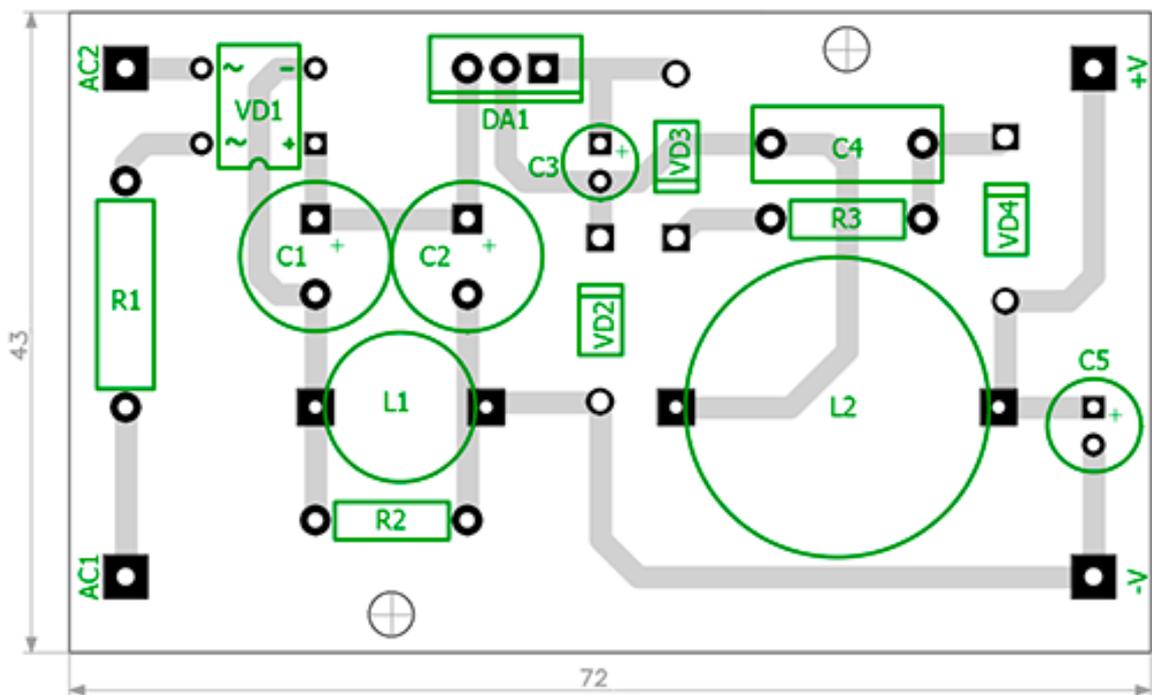


Рисунок 6 – Печатная плата

Дроссель L2 работает в режиме намагничивания, в котором магнитопровод накапливает энергию. Для того, чтобы этот процесс проходил стабильно и эффективно, дроссель должен иметь зазор или быть изготовлен из материала с распределенным зазором, таким как Мо-пермаллой, аморфное или порошковое железо. В конструкции дросселя L2 используется 150 витков провода ПЭЛ 0,41, который обмотан на ферритовом кольцевом сердечнике М2000НМ размером 20x10x5 мм. Чтобы изготовить дроссель, кольцо следует разломить на две половины, затем склеить их эпоксидным клеем, введя в один или в оба зазора прокладку из немагнитного материала, такого как гетинакс, текстолит или картон, суммарной толщиной 1 мм.

Важно отметить, что использование ферритового магнитопровода без зазора для дросселя L2 может привести к его насыщению, что приведет к нестабильной работе устройства. Поэтому необходимо придерживаться указанных рекомендаций по конструированию дросселя L2, чтобы обеспечить его надежную и стабильную работу в устройстве.

### 1.2.3 Лабораторный блок питания MAISHENG MS3010D

На рисунке 7 представлен лабораторный блок питания MAISHENG.



Рисунок 7 – Лабораторный блок питания MAISHENG

Общее описание:

Лабораторный блок питания MAISHENG MS3010D представляет собой источник постоянного напряжения и тока, предназначенный для использования в лабораторных условиях. Он обеспечивает стабильную и точную подачу постоянного напряжения и тока для различных электронных экспериментов, испытаний и настроек.

Характеристики:

- напряжение: 0-30 В постоянного тока;
- ток: 0-10 А постоянного тока;
- максимальная мощность: 300 Вт;
- регулировка напряжения: от 0 до максимального значения;
- регулировка тока: от 0 до максимального значения;
- точность установки напряжения:  $\pm 0.1\% + 3$  мВ;
- точность установки тока:  $\pm 0.1\% + 3$  мА;
- дисплей: ЖК-дисплей с подсветкой, отображающий установленные значения напряжения и тока;
- защитные функции: защита от короткого замыкания, защита от перегрузки, защита от перегрева;
- режимы работы: постоянный источник тока, постоянный источник напряжения.

#### Входное питание:

- напряжение: 220-240 В переменного тока;
- частота: 50/60 Гц.

#### Физические характеристики:

- размеры: 315 мм × 155 мм × 280 мм;
- вес: около 6 кг;
- материал корпуса: металл;
- вентиляция: вентиляционные отверстия для обеспечения эффективного охлаждения.

#### Интерфейсы:

- выход: 1 пара выходных клеммных разъемов для подключения нагрузки;
- регулировочные элементы: ручки регулировки напряжения и тока;
- управление: кнопки для установки значений и режимов работы, переключатели режимов работы.

#### Преимущества:

- высокая точность установки напряжения и тока;

- широкий диапазон регулировки;
- защитные функции обеспечивают безопасность работы;
- ЖК-дисплей с подсветкой для удобного отображения установленных значений;
- компактный и прочный металлический корпус;
- эффективная система охлаждения для длительной работы без перегрева;
- надежная конструкция и высокое качество материалов обеспечивают долговечность и надежность работы блока питания;
- лабораторный блок питания MAISHENG MS3010D имеет широкий спектр применения, и может использоваться в различных областях, таких как электроника, радиосвязь, исследования и разработки, образование и другие лабораторные цели;
- он обладает эргономичным дизайном, удобными регулировочными элементами и понятным интерфейсом, что делает его простым в использовании даже для пользователей с ограниченным опытом;
- блок питания оснащен защитой от короткого замыкания, перегрузки и перегрева, что обеспечивает безопасность работы и защиту подключенных устройств;
- поддержка постоянного источника тока и постоянного источника напряжения позволяет удовлетворить различные требования и экспериментальные условия;
- лабораторный блок питания MAISHENG MS3010D является надежным и эффективным инструментом для проведения экспериментов, тестирования и разработки в лабораторной среде.

Принцип работы лабораторного блока питания MAISHENG MS3010D основан на преобразовании входного переменного напряжения в управляемое постоянное напряжение и ток. Основные компоненты и принципы работы блока питания включают:

- трансформатор: Входное переменное напряжение подается на трансформатор для преобразования его в нужное значение. Трансформатор обеспечивает изоляцию и изменение амплитуды напряжения;
- диодный мост: Преобразованное трансформатором напряжение поступает на диодный мост, который выполняет функцию выпрямления переменного напряжения в пульсирующее постоянное напряжение;
- фильтрация: Пульсирующее напряжение проходит через фильтрующие элементы, такие как электролитические конденсаторы, для сглаживания и устранения импульсаций и шумов;
- усилитель и стабилизатор: Сглаженное напряжение поступает на усилитель и стабилизатор, который регулирует и поддерживает постоянное напряжение на выходе блока питания. Усилитель контролирует уровень напряжения, а стабилизатор обеспечивает точность и стабильность значения напряжения;
- контроллер и обратная связь: Блок питания оснащен контроллером и обратной связью, которые мониторят выходное напряжение и ток. Контроллер сравнивает установленные значения напряжения и тока с измеренными значениями и соответствующим образом регулирует усилитель и стабилизатор, чтобы поддерживать заданные параметры;
- интерфейс управления: Пользователь может настраивать значения напряжения и тока с помощью регулировочных элементов и кнопок на передней панели блока питания. Интерфейс также предоставляет информацию о текущих установках и измеренных значениях через дисплей.

#### 1.2.4 Лабораторный источник (блок) питания UnionTEST HY1503D

На рисунке 8 изображен лабораторный источник питания.



Рисунок 8 – Лабораторный источник питания HY1503D

UnionTEST HY1503D - это лабораторный источник питания, предназначенный для обеспечения постоянного напряжения и тока в электронных цепях и экспериментах. Он обладает регулируемым выходным напряжением в диапазоне от 0 до 15 В и выходным током от 0 до 3 А. Мощность устройства составляет 45 Вт.

#### Общая информация:

- модель: UnionTEST HY1503D;
- тип: Лабораторный источник питания;
- производитель: UnionTEST.

#### Основные характеристики:

- выходное напряжение: от 0 до 15 В постоянного тока (регулируется);
- выходной ток: от 0 до 3 А постоянного тока (регулируется);
- мощность: 45 Вт;
- входное напряжение: 220 В переменного тока;
- частота входного напряжения: 50/60 Гц;
- гальваническая развязка между входом и выходом: есть;
- режимы работы: постоянный ток (DC).

#### Дисплей и управление:

- дисплей: ЖК-дисплей с подсветкой;
- интерфейс управления: кнопки и ручки.

#### Защитные функции:

- защита от перегрузки: встроенная защита от короткого замыкания и перегрузки;
- защита от перенапряжения: встроенная защита от высокого напряжения.

#### Физические характеристики:

- размеры (Ш x В x Г): примерно 160 мм x 130 мм x 260 мм;
- вес: примерно 2 кг.

#### Дополнительные функции:

- возможность сохранения и установки пользовательских профилей напряжения и тока;
- регулировка выходного напряжения и тока с помощью ручек или кнопок;
- индикация текущих значений напряжения и тока на дисплее;

– возможность использования в постоянном режиме работы.

Комплектация:

- лабораторный источник питания UnionTEST HY1503D;
- кабель питания для подключения к сети переменного тока;
- инструкция по эксплуатации.

Преимущества лабораторного источника питания UnionTEST HY1503D:

– регулируемые параметры: HY1503D позволяет легко регулировать выходное напряжение и ток в широком диапазоне, что делает его универсальным и гибким инструментом для различных устройств;

– защитные функции: Встроенная защита от перегрузки и короткого замыкания предотвращает повреждение подключенных устройств и обеспечивает безопасность при работе;

– ЖК-дисплей и удобное управление: Наличие ЖК-дисплея с подсветкой обеспечивает удобное отображение текущих значений напряжения и тока. Кнопки и регуляторы позволяют легко управлять параметрами и устанавливать требуемые значения;

– сохранение пользовательских профилей: Функция сохранения пользовательских профилей позволяет быстро переключаться между различными настройками напряжения и тока для разных экспериментов или задач;

– режим постоянного тока: HY1503D может работать в постоянном режиме, что особенно полезно при тестировании и проверке электронных компонентов и цепей;

– компактный и легкий: С компактными размерами и весом всего 2 кг, HY1503D удобен в использовании и легко переносится между рабочими местами или лабораториями.

Общие преимущества UnionTEST HY1503D включают его удобство, надежность и гибкость, делая его идеальным выбором для электронных

инженеров, студентов, электронных хобби-энтузиастов и всех, кто работает с электроникой и требует стабильного источника питания.

Принцип работы лабораторного источника питания UnionTEST NY1503D основан на преобразовании входного переменного напряжения в стабильное выходное напряжение и ток.

1. Подключение к источнику питания: NY1503D подключается к источнику переменного напряжения через кабель питания.

2. Преобразование переменного напряжения: Встроенный блок питания выполняет преобразование входного переменного напряжения (например, 220 В переменного тока) в постоянное напряжение.

3. Регулировка параметров: С помощью ручек и кнопок на передней панели источника питания можно установить желаемые значения выходного напряжения и тока.

4. Стабилизация выходного напряжения и тока: NY1503D обеспечивает стабильное выходное напряжение и ток путем использования обратной связи и регулировки уровня сигнала, чтобы поддерживать заданные значения.

5. Защитные функции: Источник питания NY1503D оборудован встроенными защитными механизмами, такими как защита от перегрузки и короткого замыкания, которые автоматически отключают выходное напряжение и ток, чтобы предотвратить повреждение устройств или цепей при возникновении непредвиденных ситуаций.

6. Отображение значений: ЖК-дисплей на передней панели отображает текущие значения выходного напряжения и тока, позволяя наблюдать и контролировать процесс работы.

## 2 Разработка импульсного блока питания

### 2.1 Анализ возможных решений

На рисунке 9 представлен транзистор К30Т60.



Рисунок 9 – Транзистор К30Т60

IKW30N60TFKSA1 (K30T60) - это мощный транзистор IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), предназначенный для использования в высоковольтных и высокоточковых устройствах. Он сочетает в себе преимущества полевого транзистора MOSFET и биполярного транзистора, обеспечивая высокую производительность и надежность.

Эта микросхема имеет N-канал (отрицательный канал) и предназначена для работы с напряжением до 600 В и током до 30 А. Такие характеристики

делают ее подходящей для применения в широком спектре электронных устройств, включая инверторы, преобразователи энергии, источники питания, промышленные управляющие системы и другие схемы, где требуется эффективное управление большими токами.[23]

Микросхема IKW30N60TFKSA1 (K30T60) выполнена в корпусе ТО-247, который обеспечивает хорошую теплопроводность и удобство монтажа. Это особенно важно, так как при работе с высокими токами транзистор может нагреваться. Надлежащий теплоотвод и рассеивание тепла крайне важны для обеспечения надежной и стабильной работы микросхемы.

Принцип работы транзистора IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) основан на комбинации полевого транзистора MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) и биполярного транзистора. Это позволяет ему управлять большим током с помощью управляющего напряжения.

IGBT имеет три основных слоя: эмиттер (E), коллектор (C) и база (G). Слои эмиттера и коллектора представляют собой диффузированные pn-переходы, а слой базы - область с повышенным уровнем примесей, называемая каналом.

Процесс работы IGBT можно разделить на четыре фазы:

– фаза открытия (включения): На начальном этапе применяется положительное управляющее напряжение между базой и эмиттером ( $V_{GE}$ ). Это создает заряд в канале и приводит к появлению инверсии заряда под поверхностью канала. В этой фазе IGBT ведет себя как MOSFET с открытым каналом, позволяя протекать току коллектора (IC);

– фаза переключения: После достижения определенного уровня управляющего напряжения (порогового значения) IGBT переходит в фазу переключения. В этой фазе управляющее напряжение удерживается на постоянном уровне, а ток базы начинает увеличиваться, вызывая уменьшение сопротивления между эмиттером и коллектором. Это позволяет IGBT пропускать большой ток коллектора;

– фаза насыщения: Когда IGBT находится в состоянии насыщения, он имеет минимальное сопротивление между эмиттером и коллектором. В этой фазе IGBT полностью открыт и может пропускать максимально возможный ток коллектора;

– фаза закрытия (выключения): При снижении управляющего напряжения до нуля IGBT переходит в фазу закрытия. В этой фазе заряд, накопленный в канале, постепенно рекомбинирует, восстанавливая блокировочное состояние между эмиттером и коллектором.

Преимущества транзистора IKW30N60TFKSA1 (K30T60) :

– высокое напряжение пробоя: IKW30N60TFKSA1 (K30T60) имеет рабочее напряжение до 600 В, что делает его подходящим для применения в высоковольтных схемах;

– высокий ток: Способность переносить ток до 30 А делает IKW30N60TFKSA1 (K30T60) идеальным для устройств с высокими электрическими токами;

– высокий коэффициент усиления: Транзисторы IGBT обладают высоким коэффициентом усиления, что обеспечивает эффективное управление током и улучшает общую производительность системы;

– низкие потери при открытом состоянии: IGBT обладает относительно низкими потерями мощности в открытом состоянии, что способствует повышению энергоэффективности системы.

Недостатки:

– тепловые потери: При работе с высокими токами IGBT может нагреваться, требуя надлежащего теплоотвода и рассеивания тепла для обеспечения надежной работы и предотвращения повреждений;

– потери мощности при высоких температурах: Внутреннее сопротивление IGBT может увеличиваться при повышенных температурах, что может приводить к дополнительным потерям мощности и снижению эффективности;

– сложность управления: Управление транзистором IGBT требует соответствующих схем управления и обратной связи для достижения оптимальной работы и предотвращения возможных неисправностей.

IR2153 - это двухканальный контроллер синхронного выпрямления, разработанный компанией Infineon Technologies. Он представляет собой высокоинтегрированное устройство, специально разработанное для управления инверторами или полупонтовыми выпрямителями. IR2153 обеспечивает эффективное и надежное управление мощными транзисторами или IGBT в различных промышленных и бытовых приложениях. На рисунке 10 представлен контроллер синхронного выпрямления.

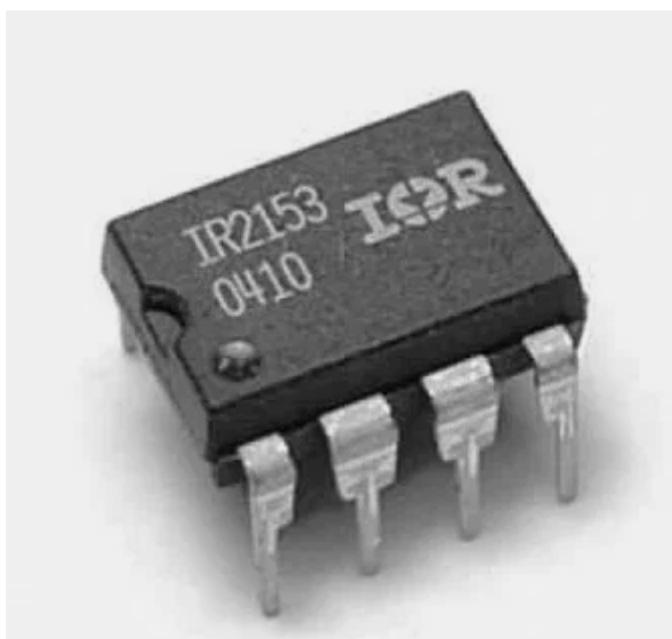


Рисунок 10 – Микросхема IR2153

Основные особенности и характеристики контроллера IR2153:

– генераторы прямоугольных сигналов: IR2153 включает два независимых генератора прямоугольных сигналов. Эти сигналы используются для управления выходными транзисторами или IGBT и обеспечивают точное управление скважностью и частотой коммутации;

– режимы работы: IR2153 поддерживает несколько режимов работы, включая режимы мягкого включения/выключения (soft-start/soft-stop), фиксированную частоту и переменную частоту;

– защита от короткого замыкания: Контроллер включает в себя встроенную защиту от короткого замыкания, которая обеспечивает автоматическое отключение при обнаружении перегрузки или короткого замыкания;

– управление напряжением смещения: IR2153 имеет встроенную схему управления напряжением смещения, которая обеспечивает точное управление смещением нуля выходного напряжения, что особенно важно для приложений синхронного выпрямления;

– гальваническая развязка: Контроллер поддерживает гальваническую развязку между управляющим и высоковольтным цепями, что обеспечивает безопасность и защиту для операторов и других компонентов системы.

Контроллер IR2153 широко используется в промышленных системах, таких как источники бесперебойного питания, инверторы солнечной энергии, электроприводы и другие схемы мощностной электроники. Его высокая надежность, гибкость и эффективность делают его популярным выбором для различных приложений, требующих управления мощностью.

Принцип работы контроллера IR2153 основан на использовании внутренних генераторов прямоугольных сигналов для управления мощными транзисторами или IGBT в схемах инвертора или выпрямителя.

Основные этапы работы контроллера IR2153 следующие:

Генерация сигналов: IR2153 включает в себя два независимых генератора прямоугольных сигналов, называемых "HIN" и "LIN". Эти сигналы генерируются внутри микросхемы и могут быть настроены в соответствии с требованиями приложения. Сигналы HIN и LIN управляются внешними компонентами, такими как резисторы и конденсаторы, которые определяют частоту, скважность и задержку сигналов.

Управление транзисторами или IGBT: Сигналы HIN и LIN используются для управления мощными транзисторами или IGBT в схеме инвертора или выпрямителя. Сигнал HIN управляет верхним транзистором (или IGBT), а сигнал LIN управляет нижним транзистором (или IGBT). Путем изменения скважности и задержки сигналов HIN и LIN контроллер управляет временем включения и выключения транзисторов, что определяет форму выходного сигнала.

Защита и контроль: IR2153 также обеспечивает механизмы защиты, включая защиту от короткого замыкания и перегрузки. Контроллер мониторит выходные токи и обеспечивает автоматическое отключение при обнаружении перегрузки или короткого замыкания. Он также обеспечивает возможность контроля параметров работы, таких как частота и скважность сигналов.

Гальваническая развязка: IR2153 предоставляет возможность гальванической развязки между управляющим и высоковольтным цепями. Это обеспечивает безопасность и защиту от электрических помех.

В целом, контроллер IR2153 предоставляет точное и надежное управление мощными транзисторами или IGBT в инверторных или выпрямительных схемах. Он позволяет создавать электронные устройства с высокой энергоэффективностью и стабильным выходным напряжением.

## **2.2 Обзор выбранных компонентов**

Исходя из существующих аналогов и анализа доступных опций, я принял решение использовать микросхему IR2161 в своем проекте. Существует несколько причин, почему я выбрал именно эту микросхему.

Во-первых, микросхема IR2161 обладает широким спектром функциональности, что делает ее универсальным решением для различных проектов. Она предназначена для использования в коммутационных источниках питания, что означает, что она может быть применена в

различных электронных устройствах, включая блоки питания для компьютеров, ноутбуков, аудио- и видеоустройств, освещения и других.

Во-вторых, микросхема IR2161 предлагает высокую эффективность работы. Она оснащена различными защитными функциями, такими как защита от короткого замыкания, перегрузки и перенапряжения, что повышает надежность и безопасность вашей системы.

Кроме того, IR2161 обладает гибкой настройкой и управлением, что обеспечивает возможность оптимизации работы системы под конкретные требования проекта. Это включает настройку частоты переключения, подстройку параметров регулирования выходного напряжения и другие опции.

Наконец, микросхема IR2161 предоставляет удобный и простой в использовании пакет с низким числом внешних компонентов, что способствует упрощению процесса проектирования и снижению стоимости системы.

В целом, на основе анализа аналогов и общих характеристик, я пришел к выводу, что микросхема IR2161 наилучшим образом соответствует требованиям моего проекта и предлагает оптимальное сочетание функциональности, надежности и простоты в использовании.

IR2161 - это силовой управляемый контроллер, разработанный компанией Infineon Technologies. Эта микросхема предназначена для использования в преобразователях постоянного тока/постоянного тока (DC/DC) и других схемах управления мощностью. На рисунке 11 изображен управляемый контроллер IR2161.



Рисунок 11 – Контроллер IR2161

Основные характеристики и функции микросхемы IR2161 включают:

- контроль ширины импульсов (PWM): IR2161 обеспечивает возможность генерации сигнала широтно-импульсной модуляции для управления мощностью силового ключа в преобразователе. Это позволяет эффективно регулировать выходное напряжение или ток;
- защитные функции: Микросхема обладает функциями защиты, такими как защита от короткого замыкания и защита от перегрузки. Они помогают предотвратить повреждение микросхемы и сопутствующих компонентов в случае нештатных ситуаций;
- входные и выходные возможности: IR2161 имеет входы для подачи опорного напряжения и сигналов синхронизации. Он также предоставляет

выходы для управления силовыми ключами, обычно реализуемыми с помощью MOSFET или IGBT;

- широкий диапазон рабочего напряжения: Микросхема поддерживает широкий диапазон входного напряжения, что позволяет ее использовать в различных проектах;

- простая схема подключения: IR2161 имеет небольшое количество внешних компонентов, что упрощает схему подключения и уменьшает занимаемое пространство на печатной плате.

Принцип работы микросхемы IR2161 основан на управлении широтно-импульсной модуляцией (PWM) для управления мощностью силового ключа в преобразователе постоянного тока/постоянного тока (DC/DC) или других схемах управления мощностью. Вот общий принцип работы:

- опорное напряжение: Микросхема IR2161 требует опорное напряжение, которое обычно подается на вход VCC. Это напряжение обеспечивает питание микросхемы и используется в качестве опоры для внутренних блоков;

- генерация сигнала PWM: IR2161 генерирует сигнал широтно-импульсной модуляции (PWM) с заданной частотой и скважностью. Частота и скважность могут быть установлены с помощью внешних компонентов, таких как резисторы и конденсаторы, подключенные к соответствующим пинам микросхемы;

- управление силовым ключом: Сгенерированный сигнал PWM используется для управления силовым ключом, обычно реализуемым с помощью MOSFET или IGBT. Сигнал PWM определяет длительность времени, в течение которого силовой ключ находится во включенном состоянии и выключенном состоянии. Это позволяет регулировать поток энергии и управлять выходным напряжением или током;

- защитные функции: Микросхема IR2161 обеспечивает функции защиты, такие как защита от короткого замыкания и защита от перегрузки.

Когда возникают нештатные ситуации, микросхема может отключить силовой ключ или применить другие меры для предотвращения повреждений;

- обратная связь: Для обеспечения стабильного регулирования выходного напряжения или тока микросхема может использовать обратную связь, полученную с помощью датчиков или определенных элементов схемы. Это позволяет микросхеме регулировать ширину импульсов PWM в зависимости от требуемых параметров выхода.

Преимущества микросхемы IR2161:

- простота использования: IR2161 предлагает простую схему подключения и управления, что упрощает проектирование и внедрение в различные схемы управления мощностью;

- гибкость настройки: Микросхема обладает возможностью настройки частоты и скважности сигнала PWM, что позволяет адаптировать ее для различных требований устройств;

- защитные функции: IR2161 включает функции защиты от короткого замыкания и перегрузки, что повышает надежность и безопасность схемы управления мощностью;

- широкий диапазон входного напряжения: Микросхема поддерживает широкий диапазон входного напряжения, что делает ее универсальной и применимой в различных системах питания;

- высокая эффективность: IR2161 обеспечивает эффективное управление мощностью, что помогает снизить энергопотребление и повысить энергоэффективность системы.

Недостатки микросхемы IR2161 могут включать следующее:

- ограниченная функциональность: IR2161 предназначена в основном для базовых схем управления мощностью и может быть ограничена в своих возможностях для более сложных и специализированных проектов. Если требуется более сложная или специализированная функциональность, может потребоваться выбор другой микросхемы;

– ограниченная масштабируемость: IR2161 может иметь ограниченные возможности расширения и интеграции с другими модулями или компонентами. Это может ограничить его применение в комплексных системах или требовать использования дополнительных внешних компонентов;

– тепловыделение: В некоторых случаях микросхема может генерировать тепло во время работы, особенно при высоких нагрузках или высоких частотах работы. Это может потребовать дополнительных мер по охлаждению, таких как использование радиаторов или вентиляторов, чтобы обеспечить надлежащую тепловую стабильность;

– сложность настройки: Настройка микросхемы IR2161 может потребовать определенного уровня экспертизы и понимания принципов работы. Документация и руководства по применению могут быть сложными для понимания, особенно для новичков;

– ограниченная информация и поддержка: Возможно, могут возникнуть ограничения в доступной информации или поддержке со стороны производителя. Это может затруднить разработку и решение проблем в случае необходимости.

После тщательного исследования доступных аналогов и вариантов, я пришел к выводу, что транзистор IRF740 будет оптимальным выбором для включения в мой проект. Вот несколько факторов, которые подтверждают моё решение.

Транзисторы являются одним из ключевых элементов во многих электронных схемах и имеют широкий спектр применений. В случае транзистора IRF740, он является мощным N-канальным MOSFET-транзистором, способным обрабатывать высокие уровни напряжения и тока.

Одна из основных причин выбора транзистора IRF740 - его высокая мощность и низкое внутреннее сопротивление. Это позволяет ему эффективно управлять большими токами и обеспечивает минимальные потери мощности во время работы.

Кроме того, IRF740 обладает надежной и прочной конструкцией, что обеспечивает долговечность и стабильность работы в различных условиях. Он также обладает высокой скоростью коммутации, что позволяет использовать его в высокочастотных устройствах.

IRF740 имеет широкий диапазон рабочих напряжений и токов, что делает его универсальным вариантом для различных проектов. Он может использоваться во многих устройствах, включая источники питания, усилители мощности, коммутационные схемы и другие.

В целом, выбор транзистора IRF740 основан на его мощности, низком внутреннем сопротивлении, надежности и широком диапазоне применения. Эти характеристики делают его подходящим выбором для моего проекта и позволяют достичь высокой эффективности и надежности работы системы. На рисунке 12 представлен транзистор IRF740.



Рисунок 12 – Транзистор IRF740

IRF740 представляет собой высоковольтный MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) с улучшенной функциональностью и способностью коммутации больших токов. Он является частью семейства мощных MOSFET-транзисторов, разработанных для использования в различных электронных устройствах и системах, требующих эффективной и надежной коммутации высоких токов.

Вот основные характеристики IRF740:

- тип корпуса: TO-220AB. IRF740 имеет стандартный корпус TO-220AB, который обеспечивает хорошее теплоотведение и легкую монтаж на радиатор;

- напряжение стока-истока (VDS): 400 В. IRF740 может выдерживать напряжение до 400 В между стоком и истоком;

- ток стока (ID): 10 А. Максимальный ток стока IRF740 составляет 10 А, что делает его подходящим для устройств, требующих коммутацию средних и высоких токов;

- сопротивление канала (RDS(on)): 0.55 Ом. IRF740 обладает низким сопротивлением канала, что позволяет снизить потери мощности и улучшить эффективность работы транзистора;

- максимальная мощность (PD): 200 Вт. IRF740 может рассеивать до 200 Вт энергии, преобразуемой в тепло, без перегрева;

- температурный диапазон: от  $-55^{\circ}\text{C}$  до  $+175^{\circ}\text{C}$ . IRF740 может работать в широком диапазоне температур, что делает его подходящим для различных условий эксплуатации.

IRF740 обычно используется в схемах коммутации, инверторах, стабилизаторах напряжения, источниках питания, электронных схемах управления двигателями и других устройствах, где требуется управление большими токами и высокими напряжениями. [22]

Принцип работы MOSFET-транзистора, включая IRF740, основан на управлении током через канал, образованный между стоком (D) и истоком (S), с помощью воздействия на затвор (G).

IRF740 является N-канальным MOSFET-транзистором, что означает, что он имеет N-канал между стоком и истоком. Внутри транзистора имеется слой оксида, разделяющий затвор от канала. Когда между затвором и истоком подается напряжение (напряжение затвора,  $V_{GS}$ ), создается электрическое поле в оксиде, которое контролирует проводимость канала.

В нормальном режиме работы, когда напряжение на затворе ниже порогового значения ( $V_{GS(th)}$ ), MOSFET находится в выключенном состоянии, и почти нет тока, проходящего через канал между стоком и истоком.

Когда на затвор подается напряжение выше порогового значения, MOSFET переходит во включенное состояние. При этом образуется проводящий канал между стоком и истоком, и ток начинает протекать через транзистор.

Управление током осуществляется путем изменения напряжения на затворе. При увеличении напряжения затвора ( $V_{GS}$ ), проводимость канала увеличивается, что приводит к увеличению тока через транзистор. При уменьшении напряжения затвора ( $V_{GS}$ ), проводимость канала уменьшается, что приводит к уменьшению тока через транзистор.

IRF740 также имеет сопротивление канала, обозначаемое как  $R_{DS(on)}$ . Это сопротивление определяет потери мощности и эффективность работы транзистора. Чем ниже значение  $R_{DS(on)}$ , тем меньше потери мощности и выше эффективность.

Одной из ключевых особенностей IRF740 является его способность коммутации больших токов. Это делает его полезным для устройств, где требуется управление высокими токами, такими как инверторы, стабилизаторы напряжения, источники питания и другие схемы мощности.

При использовании IRF740 в таких схемах, обычно используется дополнительная схема управления для подачи правильных уровней напряжения на затвор. Это может быть осуществлено с помощью драйверов или других устройств управления.

Важно отметить, что при работе с MOSFET-транзисторами, включая IRF740, необходимо учитывать параметры тока, напряжения и мощности, чтобы не превышать их допустимые значения и обеспечить надежную и безопасную работу системы.

Принцип работы MOSFET-транзистора, включая IRF740, основан на управлении током через канал, образованный между стоком (D) и истоком (S), с помощью воздействия на затвор (G).

IRF740 является N-канальным MOSFET-транзистором, что означает, что он имеет N-канал между стоком и истоком. Внутри транзистора имеется слой оксида, разделяющий затвор от канала. Когда между затвором и истоком подается напряжение (напряжение затвора,  $V_{GS}$ ), создается электрическое поле в оксиде, которое контролирует проводимость канала.

В нормальном режиме работы, когда напряжение на затворе ниже порогового значения ( $V_{GS(th)}$ ), MOSFET находится в выключенном состоянии, и почти нет тока, проходящего через канал между стоком и истоком.

Когда на затвор подается напряжение выше порогового значения, MOSFET переходит во включенное состояние. При этом образуется проводящий канал между стоком и истоком, и ток начинает протекать через транзистор.

Управление током осуществляется путем изменения напряжения на затворе. При увеличении напряжения затвора ( $V_{GS}$ ), проводимость канала увеличивается, что приводит к увеличению тока через транзистор. При уменьшении напряжения затвора ( $V_{GS}$ ), проводимость канала уменьшается, что приводит к уменьшению тока через транзистор.

IRF740 также имеет сопротивление канала, обозначаемое как  $R_{DS(on)}$ . Это сопротивление определяет потери мощности и эффективность работы транзистора. Чем ниже значение  $R_{DS(on)}$ , тем меньше потери мощности и выше эффективность.

IRF740 обычно используется в схемах коммутации, где он может управлять большими токами и высокими напряжениями. Это делает его полезным в устройствах, таких как инверторы, стабилизаторы напряжения, источники питания и другие электронные схемы, требующие управления большими токами.

IRF740, как MOSFET-транзистор, имеет несколько преимуществ, которые делают его популярным и полезным в различных электронных устройствах:

- высокая коммутационная способность: IRF740 способен коммутировать большие токи, что делает его идеальным для использования в схемах мощности. Он может управлять токами до 10 А, что обеспечивает эффективную коммутацию высоких нагрузок.

- низкое сопротивление канала: IRF740 имеет низкое сопротивление канала ( $R_{DS(on)}$ ), что приводит к меньшим потерям мощности и улучшенной эффективности работы. Это особенно важно в устройствах, где требуется минимизировать нагрев и потери энергии.

- высокое напряжение стока-истока: IRF740 может выдерживать напряжение до 400 В между стоком и истоком. Это делает его подходящим для устройств, где требуется коммутация высоких напряжений.

- удобная установка и монтаж: IRF740 поставляется в стандартном корпусе TO-220AB, который обеспечивает хорошее теплоотведение и легкую установку на радиатор или печатную плату.

- широкий температурный диапазон: IRF740 способен работать в широком диапазоне температур, от  $-55^{\circ}\text{C}$  до  $+175^{\circ}\text{C}$ . Это делает его подходящим для различных условий эксплуатации и окружающей среды.

- надежность и долговечность: MOSFET-транзисторы, включая IRF740, известны своей высокой надежностью и долговечностью при правильном использовании и соблюдении рекомендаций производителя.

Несмотря на свои преимущества, у IRF740, как и у любого другого компонента, есть некоторые потенциальные недостатки:

- высокое сопротивление в выключенном состоянии: По сравнению с некоторыми другими MOSFET-транзисторами, у IRF740 может быть относительно высокое сопротивление в выключенном состоянии. Это может привести к некоторым потерям мощности и повышенному нагреву при работе с высокими токами.

- высокие временные задержки: MOSFET-транзисторы обычно имеют более длительные временные задержки, чем биполярные транзисторы. Это может быть проблематично в некоторых устройствах, требующих быстрой коммутации или высокой частоты переключения.

- зависимость от напряжения затвора: IRF740 требует достаточно высокого напряжения на затворе для полного открытия и достижения низкого сопротивления канала. Это может потребовать использования дополнительных схем управления или драйверов для обеспечения правильных уровней напряжения.

- статическое потребление энергии: MOSFET-транзисторы могут иметь небольшое статическое потребление энергии, даже в выключенном состоянии. В некоторых устройствах, где требуется минимальное потребление энергии в покое, это может быть нежелательным.

- чувствительность к электростатическому разряду (ESD): Как и большинство полупроводниковых устройств, IRF740 чувствителен к электростатическому разряду. При работе с этим транзистором необходимо соблюдать соответствующие меры предосторожности, такие как заземление и антистатические меры.

Важно отметить, что недостатки могут быть относительными и зависят от конкретных требований и контекста применения. При выборе и использовании IRF740 важно учитывать эти факторы и обеспечивать правильное проектирование и эксплуатацию для достижения оптимальной производительности и надежности.

## 2.3 Расчет компонентов

Расчет среднего тока транзистора

$$I_{cp} = V_{cc} \div R_{load} = 230 \div 5 = 46A$$

Расчет среднего тока диода

$$I_{cp} = I_{max} \times T \times D = 30 \times 0.0083 \times 1 = 0.249A$$

Итак, средний ток транзистора равен 46А, диода 0.249А.

## 2.4 Проектирование схемы стабилизированного блока питания

Исходя из анализа возможных решений, выбрал подходящие компоненты и составил электрическую принципиальную схему стабилизированного источника питания с регулируемой защитой. [1]

На рисунке 13 изображена электрическая принципиальная схема.

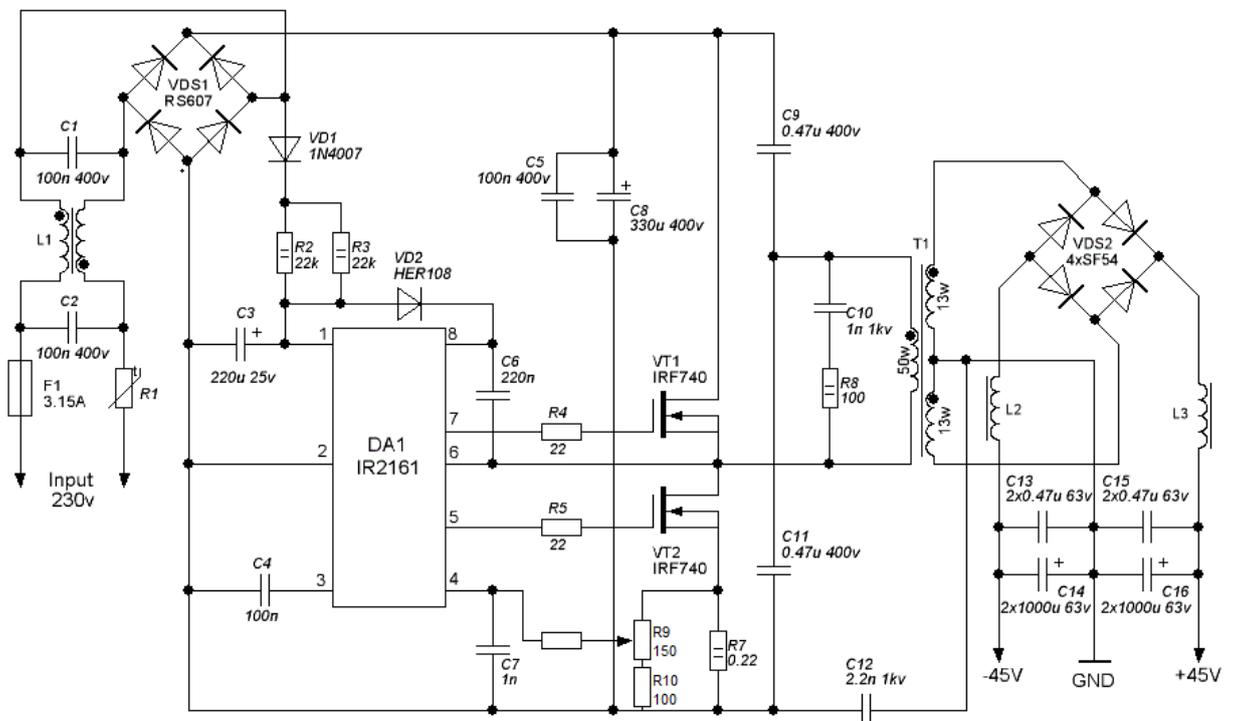


Рисунок 13 – Схема импульсного блока питания

Вход блока питания оборудован термистором и предохранителем. Термистор имеет сопротивление 10 Ом и способен выдерживать ток до 3 А. Предохранитель установлен на предельный ток 3,15 А.

Следующим элементом по схеме является сетевой фильтр, который включает в себя компоненты C1, L1 и C2. Дроссель L1 обладает индуктивностью 10 мГн для каждой из его обмоток.

В зависимости от версии печатной платы, для выпрямления сетевого напряжения используется либо диодный мост RS607 (6 А, 700 В), либо диодный мост, построенный на четырех дискретных диодах 1N5408 (3 А, 1000 В). Если необходимо заменить диодный мост RS607, то можно использовать другой диодный мост, рассчитанный на ток от 4 А.

Для сглаживания пульсаций выпрямленного сетевого напряжения используется высоковольтный электролитический конденсатор C8 с емкостью 330 мкФ и напряжением 400 В. Емкость конденсатора C8 выбирается в соответствии с расчетом 1 мкФ на каждый ватт выходной мощности блока питания.

Кроме того, конденсатор C5 устанавливается для борьбы с высокочастотными составляющими в первичной цепи блока питания.

Контроллер IR2161 питается через цепь, состоящую из диода VD1, резисторов R2 и R3. Резисторы R2 и R3 расходуют около 2 Вт мощности, что приводит к их нагреву до температуры 70-80 градусов Цельсия в процессе работы.

Конденсатор C3 установлен для сглаживания пульсаций напряжения питания контроллера.

Конденсатор C4 играет важную роль в определении временных постоянных, включая время работы софт-старта. Производитель рекомендует использовать конденсатор емкостью 100 нФ в качестве C4.

Для диода VD2 рекомендуется использовать ультрабыстрый диод HER108.

Значения затворных резисторов R4 и R5 зависят от применяемых ключевых транзисторов. В случае использования транзисторов IRF740, оптимальным номиналом для затворных резисторов будет 22 Ом.

Резистор R7 регулирует ток, при котором срабатывает защита от перегрузки и короткого замыкания. Чтобы приблизительно подобрать значение номинала для резистора R7 в зависимости от требуемой выходной мощности блока питания, можно использовать приведенную ниже таблицу 1.

Таблица 1 – Значение номинала для резистора R7

Сопротивление резистора R7	0,05 Ом (2×0,1 Ом)	0,075 Ом (2×0,15 Ом)	0,1 Ом	0,12 Ом (2×0,24 Ом)	0,135 Ом (2×0,27 Ом)	0,15 Ом
Срабатывание защиты при выходной мощности	650 Вт	430 Вт	325 Вт	270 Вт	240 Вт	215 Вт
Сопротивление резистора R7	0,18 Ом	0,2 Ом	0,22 Ом	0,24 Ом	0,27 Ом	0,3 Ом
Срабатывание защиты при выходной мощности	180 Вт	160 Вт	150 Вт	0,135 Ом	120 Вт	110 Вт

Фактическое значение выходной мощности, при котором происходит срабатывание токовой защиты, может отличаться от приведенных значений. Экспериментальный подход позволяет более точно настроить резистор R7 под конкретные условия и требования системы.

Цепь, состоящая из конденсатора C10 и резистора R8, предназначена для подавления выбросов напряжения на первичной обмотке трансформатора. Они используются для сглаживания и снижения влияния периодических пиков напряжения, которые могут возникать в этой обмотке.

Конденсатор С12, с другой стороны, предназначен для уменьшения помех, которые могут быть сгенерированы импульсным блоком питания. Такие блоки питания могут создавать высокочастотные помехи, которые распространяются по сетевой линии. Конденсатор С12 используется для фильтрации и поглощения этих помех, чтобы предотвратить их попадание в другие части электронной системы и снизить их влияние на работу устройства.

Основной, силовой трансформатор (Т1) рассчитывается с помощью специализированных компьютерных программ. Первичная обмотка трансформатора намотана проводом диаметром 0,5 мм и содержит 50 витков. Вторичные обмотки состоят из двух проводов по 0,5 мм и содержат по 13 витков каждая.

С точки зрения снижения скин-эффекта, рекомендуется мотать обмотки трансформатора в несколько тонких проводов, вместо одного толстого провода. Скин-эффект возникает из-за того, что переменный ток предпочитает протекать ближе к поверхности проводника. При использовании нескольких тонких проводников вместо одного толстого, эффективная поверхность для тока увеличивается, что снижает скин-эффект и улучшает эффективность передачи энергии в трансформаторе.

Диоды SF54, с характеристиками 5 А и 200 В, использованные в варианте источника питания, позволяют безопасно снимать ток до 2,7 А с каждого плеча блока питания. Это значит, что эти диоды обеспечивают достаточный запас по току для данного устройства.

Важно учитывать, что снимаемый ток не должен превышать номинальные значения, указанные в спецификациях диодов. В данном случае, при использовании диодов SF54, можно безопасно снимать ток до 2,7 А с каждого плеча блока питания.

Всегда рекомендуется проверять даташиты и характеристики диодов, чтобы удостовериться в их совместимости и соответствии с требуемыми параметрами вашего конкретного устройства.

Для эффективного отвода и рассеивания тепла от кристаллов диодов SF54, рекомендуется устанавливать их на плату таким образом, чтобы выводы диода были как можно большей длины. Увеличение длины выводов поможет улучшить теплоотвод и снизить температуру кристалла диода.

Если необходимо получить большой выходной ток, можно рассмотреть применение диодов в корпусе ТО-220. Диоды в корпусе ТО-220 обладают более крупным корпусом и обеспечивают лучшую теплоотдачу по сравнению с более компактными диодами. Они обычно имеют металлический корпус, который позволяет крепить их к радиатору для дополнительного рассеивания тепла.

При использовании диодов в корпусе ТО-220 и креплении их к радиатору следует убедиться, что крепление надежно и эффективно обеспечивает передачу тепла от диодов к радиатору. Рекомендуется применять теплопроводящую пасту или подложки, чтобы улучшить контакт между диодами и радиатором для эффективного отвода тепла.

Индуктивности L1 и L2 представляют собой катушки, состоящие из провода, намотанного на ферритовый стержень. Каждая катушка содержит от 5 до 7 витков провода.

Ферритовый стержень служит для увеличения индуктивности катушек и улучшения их характеристик. Ферритовый материал обладает высокой магнитной проницаемостью, что позволяет усилить индуктивность катушки при заданном количестве витков.

Катушки с ферритовыми стержнями широко применяются в различных электронных устройствах, таких как источники питания, фильтры, стабилизаторы напряжения и другие. Они играют важную роль в формировании и регулировке электрических сигналов и фильтрации шумов.

Конденсаторы C13 и C15 во вторичных цепях питания предназначены для подавления высокочастотных помех. Они выполняют роль фильтров, которые снижают уровень шумов и помех, передаваемых по питающей линии.

Электролитические конденсаторы C14 и C16 выбираются с учетом требуемой выходной мощности блока питания. Необходимо использовать пропорциональное соотношение, где на каждые 100 Вт выходной мощности требуется устанавливать по 470 мкФ емкости конденсаторов. Это соотношение обеспечивает достаточную энергию хранения для обеспечения стабильного питания и снижения пульсаций напряжения на выходе блока питания.

Однако следует отметить, что выбор конкретных значений емкости конденсаторов также может зависеть от других факторов, таких как допустимые размеры и стоимость компонентов, требования к эффективности и стабильности питания, а также характеристики конкретных компонентов, доступных на рынке. Рекомендуется обратиться к спецификациям и рекомендациям производителя компонентов для более точного выбора конденсаторов C14 и C16 для вашего блока питания.

## 2.5 Проектирование печатной платы

После проектирования электрической принципиальной схемы, приступил к разработке печатной платы. На рисунке 14 представлена печатная плата.

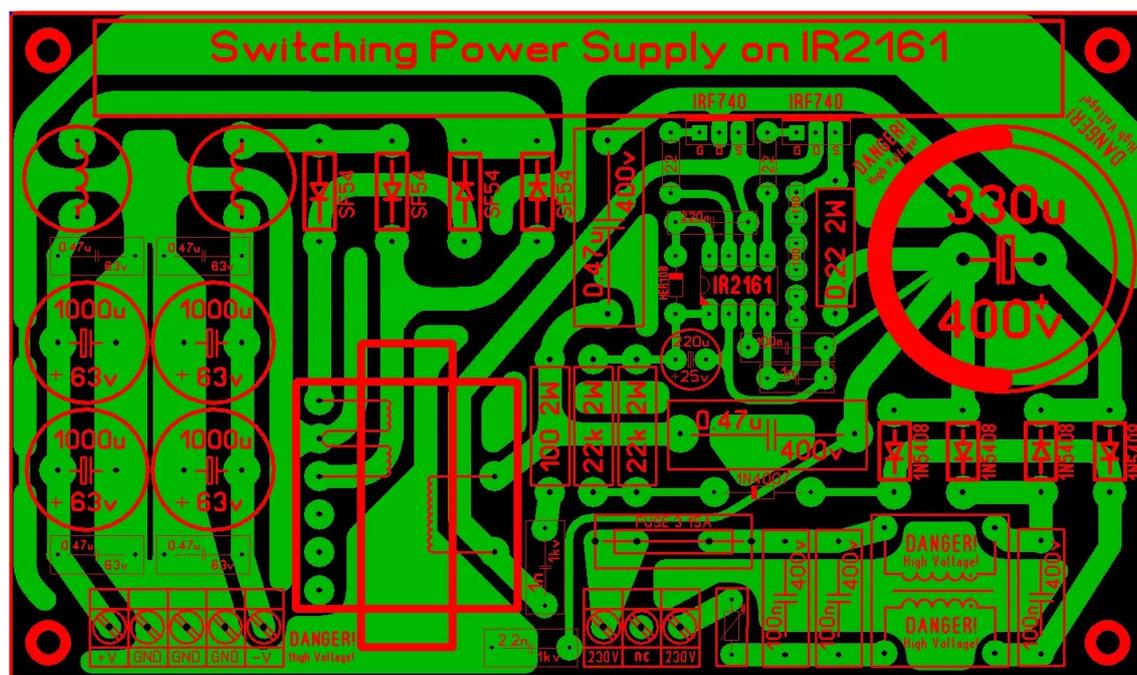


Рисунок 14 – Печатная плата

Убедился, что соединения выполнены без пересечений и коротких замыканий. Определил оптимальный маршрут трасс, для того чтобы минимизировать длину проводников и помехи. А также выполнил проверку в программном обеспечении на наличие ошибок, таких как короткие замыкания и разрывы трасс.

## Заключение

В рамках проведенных исследований был успешно спроектирован стабилизированный импульсный источник питания. Исходя из анализа доступных аналогов, были выбраны наиболее подходящие компоненты для разработки блока питания.

Благодаря тщательному подбору составных элементов, удалось достичь максимальной эффективности и надёжности блока питания.

Принципиальная схема источника питания была разработана, определяя основные компоненты и их взаимосвязь.

Важной частью проекта было обеспечение безопасной работы с разрабатываемым источником питания, включая защиту от перегрузок, коротких замыканий и других нежелательных ситуаций.

Создание импульсного блока питания на основе контроллера IR2161 представляет собой актуальную задачу.

Благодаря широкому спектру функциональности данной микросхемы, данный блок питания может быть применен в различных сферах связанных с необходимостью постоянного напряжения.

А также обеспечит необходимую безопасность для обеспечения комфортной эксплуатации.

Таким образом, данная работа включает в себя не только разработку блока питания, но и анализ существующих аналогов.

Результатом данной работы является функционирующий источник питания с регулируемой защитой, который способен обеспечить надежную и безопасную работу в соответствии с требованиями проекта.

## Список используемой литературы

1. Александров, А.А. Электротехнические чертежи и схемы / Александров К.К., Кузьмина Е.Г.- М.: Энергоатомиздат, 1990. - 288с.
2. Алмазов, Л.С. Руководство к выполнению дипломных проектов: учеб. пособ. / Гудаков Г.А., Левашов Ю.А., Накрайников В.И., Номоконова Н.Н. - для студентов при подготовке, выполнении и защите дипломных проектов (работ) по специальности 201500 – “Бытовая радиоэлектронная радиоаппаратура”. - Владивосток: ВГУЭС, 2010.-56с.
3. Вересов Г.П. Смуряков Ю.Л. Стабилизированные источники питания радиоаппаратуры : [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elec.ru/library/nauchnaya-i-tehnicheskaya-literatura/stabiliz-istochniki-pitaniya/> (Дата обращения: 19.04.2023)
4. ГОСТ 2.104-2006. Единая система конструкторской документации. Основные надписи [Текст]. - Введ. 1971-01-01. - М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1970.- 27с.: ил.
5. ГОСТ 2.106-2019. Единая система конструкторской документации. Текстовые документы [Текст]. - Введ. 1920-02-01
6. ГОСТ 2.303-68 "Линии". [Текст]. - Введ. 1971-01-01. - М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1970.- 8с.: ил.
7. ГОСТ 2.702-2011. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения схем.- Введ. 2012-01-01. - М.: Стандартинформ: Изд-во стандартов, 2011.- 22с.: ил.
8. ГОСТ 7.12 –93 “Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Сокращение слов на русском языке.”
9. ГОСТ 7.32-2001. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления [Текст]. - Введ. 2002-07-01. - М.: Госстандарт РФ: Изд-во стандартов, 2001.- 23с.
10. ГОСТ 7.82-2001 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись.

Библиографическое описание электронных ресурсов. Общие требования и правила составления; [Текст]. - Введ. 2002-06-01. - М.: ИПК Из-во стандартов, 2001.- 23с.: ил.

11. ГОСТ 8.417–81 “Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы физических величин.”

12. ГОСТ 9327—60 “Бумага и изделия из бумаги. Потребительские форматы.”

13. ГОСТ Р 2.105-2019. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам [Текст]. - Введ. 2020-02-01.

14. ГОСТ Р 7.0.5-2008 СИБИД. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления

15. Импульсные источники питания. Создание, ремонт, работа [Электронный ресурс]. URL: <https://radiosvat.ru/istochniki-pitaniya/414-impulsnye-istochniki-pitaniya-sozdanie-remont-rabota.html> (Дата обращения: 3.04.2023)

16. Краус Л.А. Проектирование стабилизированных источников электропитания радиоэлектронной аппаратуры : [Электронный ресурс]. URL: [https://www.studmed.ru/kraus-la-proektirovanie-stabilizirovannyh-istochnikov-elektropitaniya-radioelektronnoy-apparatury\\_f709312ca6a.html](https://www.studmed.ru/kraus-la-proektirovanie-stabilizirovannyh-istochnikov-elektropitaniya-radioelektronnoy-apparatury_f709312ca6a.html) (Дата обращения: 4.05.2023)

17. Положение о выпускной квалификационной работе: утв. решен. учен. совет. от 21.11.2019 решение №254 : [Электронный ресурс]. URL: [https://yadi.sk/d/Fs-9ts\\_VInrE3Q/BKP\\_\(Diplom\)](https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_(Diplom)) / Положение о ВКР (Дата обращения: 10.04.2023)

18. Порядок обеспечения самостоятельности выполнения письменных работ в ТГУ : [Электронный ресурс]. URL: [https://yadi.sk/d/Fs-9ts\\_VInrE3Q/BKP\\_\(Diplom\)](https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_(Diplom)) / Положение о Антиплагиате (Дата обращения: 15.04.2023)

19. Репозиторий тольяттинского государственного университета:

[Электронный ресурс]. URL: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/80> (Дата обращения: 16.04.2023)

20. Стабилизированный блок питания. : [Электронный ресурс]. URL: [https://spravochnick.ru/elektronika\\_elektrotehnika\\_radiotekhnika/stabilizirovannyy\\_blok\\_pitaniya/](https://spravochnick.ru/elektronika_elektrotehnika_radiotekhnika/stabilizirovannyy_blok_pitaniya/) (Дата обращения: 18.04.2023)

21. Basic Switching Power Supply Design Tutorial [Электронный ресурс]. URL: <https://bcael.com/switchingpowersupplydesign/switchingpowersupplytut01.htm> (Дата обращения: 20.05.2023)

22. Irf 740 datasheet [Электронный ресурс]. URL: <https://www.triatron.ru/upload/specification/27-01-IMPORT/60-IRF740.pdf> (Дата обращения: 27.04.2023)

23. K30T60 datasheet [Электронный ресурс]. URL: [http://monitor.espec.ws/files/k30t60\\_628.pdf](http://monitor.espec.ws/files/k30t60_628.pdf) (Дата обращения: 24.05.2023)

24. Switch Mode Power Supply [Электронный ресурс]. URL: <https://www.electronics-tutorials.ws/power/switch-mode-power-supply.html> (Дата обращения: 1.06.2023)

25. TOP222Y datasheet [Электронный ресурс]. URL: <https://electronicsbeliever.com/switching-power-supply-operation-principles-and-design/> (Дата обращения: 15.05.2023)