**СОДЕРЖАНИЕ**

Перечень условных обозначений, символов и терминов 3

Введение 4

1. Анализ конструктивных и схемотехнических особенностей импульсных

источников питания СВЧ магнетрона 5

2. Разработка структурной схемы проектируемого устройства 12

3. Разработка электрической принципиальной схемы устройства 15

Заключение 18

Список использованных источников 19

Приложение А (обязательное) Техническое задание 20

Приложение Б (обязательное) Справка о результатах патентных   
исследований 21

Приложение В (обязательное) План-проспект дипломного проекта 22

Приложение Г (обязательное) Схема электрическая структурная 23

Приложение Д (обязательное) Схема электрическая принципиальная 24

**ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ,**

**СИМВОЛОВ И ТЕРМИНОВ**

|  |  |
| --- | --- |
| AD  *GPIO*  *PWM*  *SPI*  *UART*  ЖК  ПЛК  РЭС  СВЧ  ШИМ  ЭРЭ | *– Analog-digital*  – *General Purpose Input/Output*  *– Pulse-width modulation*  – Serial Peripheral Interface  – Universal Asynchronous Receiver-Transmitter  –Жидкокристаллический  – Программируемый логический контроллер  – Радиоэлектронное средство  – Сверхвысокие частоты  – Широтно-импульсная модуляция  – Электрорадиоэлемент |

**ВВЕДЕНИЕ**

Дистанционно управляемый источник питания СВЧ магнетрона средней мощности – это электронное устройство способное на расстоянии осуществлять запуск и выключение подключённого к нему устройства (СВЧ магнетрона), так же регулирование режима его работы.

Разработка и проектирование дистанционно управляемого источника питания является актуальной темой, поскольку практические задачи с применением современных магнетронных систем требуют постоянного улучшения технических характеристик, расширения функциональных возможностей, снижения габаритов, энергопотребления и конечной стоимости.

Составные части процесса проектирования включают в себя стадии разработки, этапы проектирования, проектные процедуры, проектные операции.

Этап проектирования – часть процесса проектирования, связанная с получением описания одного уровня или одного аспекта. Может совпадать или не совпадать со стадиями разработки. Стадии разработки выделяются как части процесса проектирования, объединяющие проектные работы по соображениям рационального планирования и организации работ, заканчивающихся заданным результатом. При разработке технического задания определяется техническая функция и частично функциональная структура системы; на стадиях технического предложения и частично эскизного проекта формируются функциональная структура и принципиальная схема изделия, а также основные технические решения; на стадии технического проекта завершается формирование технических решений; рабочая документация содержит полное описание изделия как физического объекта необходимое для проектирования технологического процесса его   
изготовления и подготовки управляющих программ для обработки деталей на автоматизированном оборудовании; спецификация изделия, а также информация о необходимых ресурсах используются для планирования производства [1].

Целью преддипломной практики является проектирование конструкции дистанционно управляемого источника питания СВЧ магнетрона средней мощности.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

1. Анализ литературно - патентных исследований, в которых проводится обзор методов и средств синтеза частот, а также анализ самих патентных исследований.

2. Разработка план-проспекта дипломного проекта.

3. Разработка конструкции проектируемого изделия, которая включает выбор элементной базы с описанием основных характеристик модулей.

**1 АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ И СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ИМПУЛЬСНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ СВЧ МАГНЕТРОНА**

Термином «магнетрон» – называют специальный электронный прибор, в котором генерирование сверхвысокочастотных колебаний осуществляется модуляцией электронного потока по скорости. Магнетроны значительно расширили область применения нагрева токами высокой и сверхвысокой частоты.

Менее распространены основанные на том же принципе амплитроны клистроны, лампы бегущей волны. Магнетрон является наиболее совершенным генератором сверхвысоких частот большой мощности. Это хорошо эвакуированная лампа с электронным потоком, управляемым электрическим и магнитным полями. Они позволяют получать весьма короткие волны при значительных мощностях.

В магнетронах используется движение электронов во взаимно перпендикулярных электрическом и магнитном полях, создаваемых в кольцевом зазоре между катодом и анодом. Между электродами подается анодное напряжение, создающее радиальное электрическое поле, под действием которого вырываемые из подогретого катода электроны устремляются к аноду [2]

Анодный блок, показанный на рисунке 1.1, помещается между полюсами электромагнита, который создает в кольцевом зазоре магнитное поле, направленное по оси магнетрона. Под действием магнитного поля электрон отклоняется от радиального направления и движется по сложной спиральной траектории. В пространстве между катодом и анодом образуется вращающееся электронное облако с языками, напоминающее ступицу колеса со спицами. Пролетая мимо щелей объемных резонаторов анода электроны возбуждают в них высокочастотные колебания.

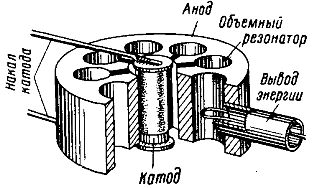


Рисунок 1.1 – Анодный блок магнетрона

Каждый из объемных резонаторов представляет собой колебательную систему с распределенными параметрами. Электрическое поле концентрируется у щелей, а магнитное поле сосредоточено внутри полости.

Вывод энергии из магнетрона, устройство которого показано на рисунке 1.2, осуществляется при помощи индуктивной петли, помещаемой в один или чаще два соседних резонатора. По коаксиальному кабелю энергия подводится к нагрузке.

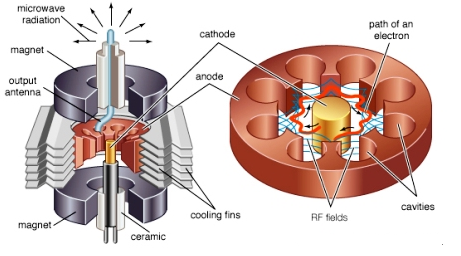


Рисунок 1.2 – Устройство магнетрона

Нагрев токами СВЧ осуществляется в волноводах круглого или прямоугольного сечения или в объемных резонаторах, в которых возбуждаются электромагнитные волны простейших форм. Нагрев может осуществляться и излучением электромагнитной волны на объект нагрева [2].

Магнетроны могут работать на различных частотах от 0,5 до 100 ГГц, с мощностями от нескольких Вт до десятков кВт в непрерывном режиме, и от 10 Вт до 5 МВт в импульсном режиме при длительностях импульсов главным образом от долей до десятков микросекунд.

Простота устройства и относительно невысокая стоимость магнетронов в сочетании с высокой интенсивностью нагрева и разнообразием применения токов СВЧ открывают перед ними большие перспективы применения в различных областях промышленности, сельского хозяйства и в быту.

Существуют различные методы реализации источников питания магнетронов как с конструктивной, так и со схемотехнической стороны. С помощью патентного исследования проводились сравнение уже существующих устройств и проектируемого.

Патентные исследования – это инструмент анализа, который позволяет решать технические, конъюнктурные и правовые задачи, связанные с разработкой и продвижением на рынок продукции, которая содержит научно-технические достижения [4].

Патентные исследования – исследования технического уровня объектов хозяйственной деятельности, их патентоспособности, патентной чистоты, конкурентоспособности (эффективности использования по назначению), которые базируются на патентной и прочих видах информации. Сегодня проведение патентных исследований выстраивается с опорой на анализ рынка продукции, которая является объектом патентных исследований [4].

Патентный поиск – это [5]:

– часть патентных исследований, которая должна проводиться на самых ранних этапах создания инновационных решений, перед регистрацией изобретения или полезной модели;

– процедура отбора информации, которая позволяет получить информацию, имеющую ключевое значение при принятии решений предприятием;

– выборка по фондам патентной документации для оценки охраноспособности изобретения, полезной модели, промышленного образца, а также для определения уровня техники – совокупности технических сведений, имеющих отношение к данному решению.

Такой поиск может производиться по нескольким различным признакам: конструкция, функции устройства, способ, вещество, элементы, параметры, свойства и явления [5].

Патентный поиск проводится в следующих целях [4]:

– проверка новизны технического решения;

–формирование базы знаний по той сфере деятельности, в которой производится выпуск продукции;

– выявление перспективных направлений для научно-исследовательской деятельности и динамики патентования в данной области, прогнозирование развития науки и техники;

– проверка возможности нарушения чужих авторских прав на схожее техническое решение.

При принятии решения о необходимости проведения патентного поиска следует учитывать тот факт, что сведения, содержащиеся в патентных документах, примерно на 80% являются уникальными и не дублируются в иных источниках.

В результате патентного поиска, исходя из понятий и задач патентного исследования, были выявлены схожие по функциональным особенностям изделия, началом действия патентов не более 15 лет:

1. Источник питания для магнетрона. Настоящее изобретение относится к области электорадиотехники.

Известно, что магнетроны могут изменять режим неожиданно, то есть они могут неожиданно прекращать генерировать на одной частоте и начинать генерировать на другой. В таких условиях они могут демонстрировать отрицательное полное сопротивление. Это может приводить к разрушительно высокому току. По этой причине известно, что источники питания постоянного/регулируемого напряжения для магнетронов не подходят; для их питания обычно используются источники питания постоянного/регулируемого тока. [5]. Решение, представленное в данном изобретении, имеет один недостаток – недостаточная стабильность выходного напряжения.

К его схемотехническим особенностям относится использование мощных биполярных транзисторов. Поскольку, процесс контрагирования разряда носит быстропротекающий характер, скорость реакции системы контроля должна быть очень высокой (порядка микросекунды). Создание мощных биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT) позволило решить эту проблему. В наиболее простой схеме дугоподавления такой транзистор устанавливается на выходе источника питания. При нормальной работе магнетрона он всегда открыт. Если же магнетронный разряд начинает переходить в дуговую стадию, то специальный датчик регистрирует это событие и транзистор закрывается. Время срабатывания защиты составляет около одной микросекунды. За этот промежуток в дуге выделяется энергия в несколько десятков миллиджоулей. При таком энерговыделении разогрева локальной точки поверхности катода до температур термоэмиссии еще не происходит, поэтому если через некоторое время (0,1 - 1 мс) опять подать питание на магнетрон, то он нормально работает [8].

2. Полезная модель относится к области техники источников питания магнетронов. Источник питания конкретно относится к источнику питания магнетрона. К его схемотехническим особенностям этого источник питания относится возможность работы в импульсном режиме. Устройство состоит из аналогового интерфейса 0-5 В, цифрового интерфейса ПЛК, микроконтроллера, аналоговой схемы и контроллера источника питания. Аналоговый интерфейс 0-5 В и цифровой интерфейс ПЛК используются для ввода внешних управляющих сигналов; аналоговый интерфейс AD и цифровой последовательный интерфейс микроконтроллера используются соответственно для приема управляющих сигналов от аналогового интерфейса 0-5V и цифрового интерфейса ПЛК; вычисляемый, при этом схема широтно-импульсной модуляции используется для преобразования сигнала в импульсную ШИМ-волну с плавно регулируемой скважностью и амплитудой 5 В и подачи импульсной ШИМ-волны в аналоговую схему, и аналоговая схема используется для преобразования внешнего сигнала напряжения в переменный резистор и регулировки значения сопротивления R в колебательном RC-цепи контроллера источника питания, так что частота переключения контроллера привода источника питания изменяется. Режим управления аналоговой схемой используется для управления мощностью источника питания магнетрона, весь процесс питания регулируется линейно [6]. В технологиях реактивного магнетронного распыления, особенно при нанесении "капризных" пленок (например оксида кремния) описанный метод дугогашения не столь эффективен. При частом срабатывании дугозащиты ускоряется "отравление" мишени, что приводит к увеличению частоты возникновения дуги окончательному отравлению мишени. Если на магнетрон подавать не постоянное, а импульсное напряжение, то с увеличением частоты импульсов вероятность образования дуг резко падает, а при частотах выше 50 - 60 кГц дуги не образуются совсем. В данном устройстве, как и в проектируемом, для регулировки выходной мощности присутствует ШИМ-модулятор, позволяющий регулировать скважность управляющего сигнала. Однако используемый аналого-цифровой интерфейс является неоправданно усложненным для данного типа устройств [8].

3. Источник питания для магнетрона относится к области электорадиотехники. Принцип работы данного устройства практически не отличается от аналогов, существуют лишь минимальные отличия в электрорадиоэлементах использованных для его реализации. Однако в данном источнике питания, построенном на основе преобразования переменного напряжения в постоянное с повышающим коэффициентом не возможен контроль устройства через приложение на мобильном устройстве посредством wi-fi, что в свою очередь является недостатком относительно проектируемого устройства с точки зрения удобства и безопасности его эксплуатации. Схемотехнической особенностью проектируемого устройства является наличие *wi-fi* модуля, обуславливающего возможность дистанционного управления. В современных технологических установках для нанесения многослойных покрытий на подложки большой площади может использоваться одновременно более десятка магнетронов и значительное количество других устройств, поэтому наличие микроконтроллерного управления зачастую является обязательным. Вследствие высокой мощности, данный источник питания имеет значительные габариты. Это обуславливает такие конструктивные особенности как наличие нескольких вентиляторов для обеспечения воздушного охлаждения, а также горизонтальную компоновку электронных модулей. На рисунке 1.3 показано конструктивное исполнение этого устройства.



Рисунок 1.3 – импульсный источник питания СВЧ магнетрона

4. Изобретение относится к преобразователям переменного напряжения в постоянное и может быть использовано при создании блоков питания магнетронов непрерывного генерирования в станциях активных помех радиолокации, в микроволновых СВЧ печах и других устройствах подобного типа. Блок питания содержит два накальных и высоковольтный трансформаторы, два магнетрона, два высоковольтных диода и дроссель. Высоковольтные диоды и магнетроны включены в мостовую схему выпрямления, при этом два плеча моста представлены высоковольтными диодами, а два других - магнетронами, причем высоковольтный трансформатор выполнен без средней точки, а дроссель включен в диагональ моста [7]

Принципы, приведенные в настоящей заявке, обеспечивают достаточно стабильною работу магнетрона с возможностью регулировки выходной характеристики. Однако явным недостатком является сложность конструкции чем и обуславливается высокая стоимость.

5. Изобретение относится к преобразователям переменного напряжения в постоянное и является биполярным. Главным отличием данного изобретения является более эффективный метод борьбы с дугами. В паузе между импульсами отрицательного напряжения на катод магнетрона подается небольшое положительное напряжение. При этом на катод течет электронный ток, снимающий заряд с диэлектрических включений на катоде [8].

Справка об исследовании патентной и научно-технической литературы представлена в приложении Б.

**2 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ПРОЕКТИРУЕМОГО УСТРОЙСТВА**

Схема электрическая принципиальная структурная дистанционно управляемого источника питания СВЧ магнетрона средней мощности показана на рисунке 2.1, приведена в графических материалах к дипломному проекту.

Источник питания имеет следующие основные возможности:

– дистанционный запуск/выключение при помощи смартфона;

– регулировка выходной мощности без изменения частоты питания;

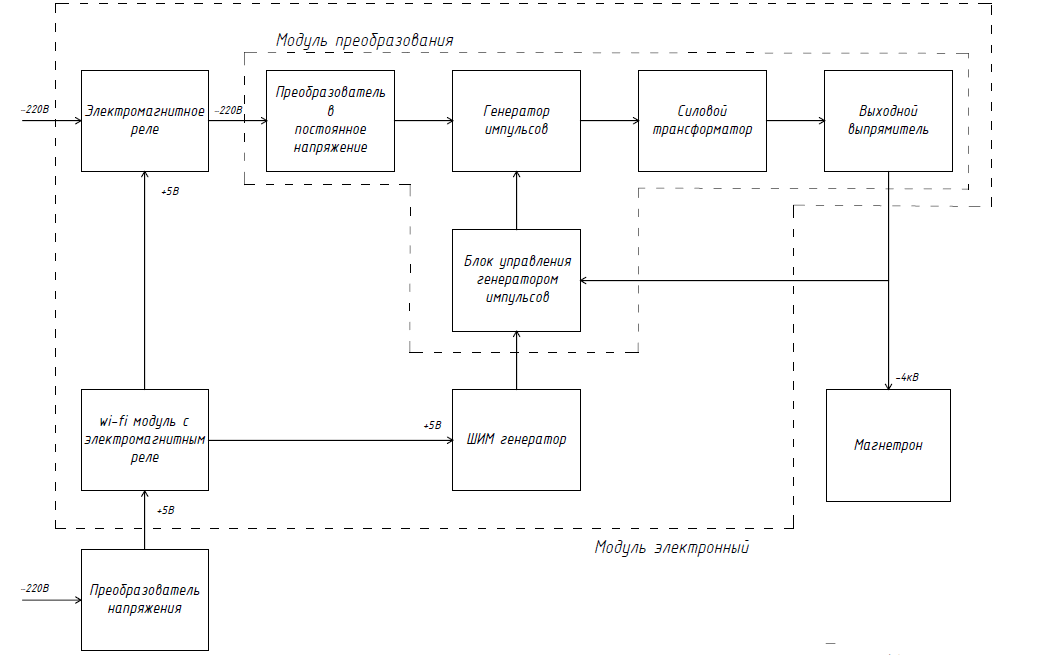


Рисунок 2.1 – Схема структурная

Преобразователь напряжения с номинальным значением 5В на выходе подключается к модулю *ESP8266* который содержит в себе *WI-FI* модуль и реле*.*

*WI-FI* модуль включает в себя полноценный 32 битный микроконтроллер со своим набором *GPIO*, в том числе *SPI*, *UART*, *I2C*. При этом схема модуля состоит из минимального количества деталей: самого чипа *ESP8266*, flash памяти, кварца. Изначально в модуль загруженна прошивка, которая образует *WIFI-UART* мост для подключения к другому микроконтроллеру, в том числе и к *Arduino*. Настройка и обмен данными происходят с помощью *АТ* команд. *PCB* антенна обеспечивает дальность до 400м на открытом пространстве. Таким образом появляется возможность подключения блока питания к мобильному устройству.

Электромагнитное реле при подаче на него сигнала логической единицы с *WI-FI* модуля замкнёт цепь питания. Как только *WI-FI* модуль подаст сигнал логического нуля цепь разомкнётся.

К *ESP8266* параллельно подключаются 2 модуля, а именно ШИМ генератор и электромагнитное реле с механически настраиваемым таймером.

Генератор ШИМ сигнала сигналов ЖК 1Гц-150КГц 3.3-30В XY-LPWM используется для ручного или программного регулирования параметров выходных импульсов в широких пределах. Модуль генерирует последовательность прямоугольных импульсов (дискретный сигнал, ШИМ) частотой 1 Гц – 150 кГц.

Генератор прямоугольных импульсов *XY-LPWM* имеет четыре группы контактов:

1. Контакты, обозначенные *VIN*+ и *VIN-*, используются для подключения питания;

2. Контакты, обозначенные *GND*, *TXD*, *RXD*, используются для подключения к генератору управляющего сигнала от компьютера или микроконтроллера:

Команда "F101": установит частоту 101 Гц (от 1 Гц до 999 Гц);

Команда "F1.05": установит частоту 1,05 кГц (от 1 кГц до 9,99 кГц);

Команда "F10.5": установит частоту 10,5 кГц (от 10 кГц до 99,9 кГц);

Команда "F1.0.5": установит частоту 105 кГц (от 100 кГц до 150 кГц);

Команда "D050": установит скважность 50%.

3. Контакты, обозначенные *PWM* и *GND*, выходной сигнал прямоугольных импульсов;

4. Группа контактов, обозначенная *J3*, используется для прошивки микроконтроллера *Nuvoton N76E003AT20*.

Генератор прямоугольных импульсов *XY-LPWM* имеет две группы кнопок:

Кнопки, обозначенные *DUTY*+ и *DUTY*-, используются для регулировки скважности выходного сигнала от 0 до 100% с шагом 1%;

Кнопки, обозначенные *FREQ*+ и *FREQ*-, используются регулировки частоты выходного сигнала от 1 Гц до 150 кГц. В пределах от 1 Гц до 999 Гц – шаг 1 Гц, от 1 кГц до 9,99 кГц – шаг 0,01 кГц, от 10 кГц до 99,9 кГц – шаг 0,1 кГц, от 100 кГц до 150 кГц – шаг 1 кГц.

В пределах от 1 Гц до 999 Гц изображение на дисплее будет без точки, в пределах от 1 кГц до 99,99 кГц – с одной точкой, в пределах 100 кГц до 150 кГц – с двумя точками.

Напряжение питания генератора составляет 3,3 – 30 В, максимальный выходной ток составляет 30 мА. Амплитуда выходного сигнала будет равна напряжению питания. Генератор оснащен защитой от перегрузки.

После отключения питания все настройки сохраняются в энергонезависимой памяти [9].

Подключенное к *ESP8266* реле отвечает за включение всего устройства, так как замыкает и размыкает цепь питания. После замыкания цепи 220В переменного тока попадают следующий модуль. На рисунке 3.1 он показан как модуль преобразования. Разработка схемы электрической принципиальной данного модуля будет проводиться в следующей главе.

**3 РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ**

Изображённый на рисунке 2.1 модуль преобразования состоит из нескольких основных частей, позволяющих получая на вход 220В отдавать непосредственно на магнетрон питание -4кВ.

Питание магнетронов осуществляется выпрямленным током с упрощенной схемой выпрямителя. Установки очень малой мощности могут питаться переменным током. Блок питания магнетрона должен обеспечивать подачу постоянного анодного напряжения на магнетрон Uа = 4,0 кВ и переменное напряжение накала 3,15 В. Упрощённая схема блока питания магнетрона изображена на рисунке 3.1. При этом величина анодного тока составляет примерно 300 мА, а тока накала 10 А. Указанные величины могут незначительно изменяться в ту или иную сторону в зависимости от типа магнетрона и требуемой мощности [3].

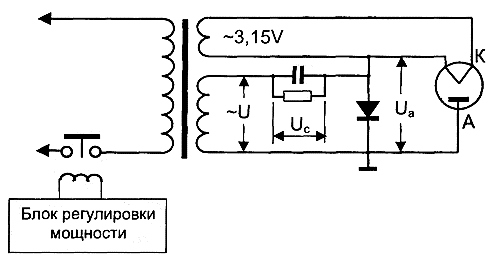


Рисунок 3.1 – упрощённая схема блока питания магнетрона

Первой частью модуля является модуль преобразования в постоянное напряжение. На схеме электрической принципиальной, показанной на рисунке 3.2, его можно увидеть в качестве диодного моста DB701 и дросселя L701[10]. На этом этапе происходит выпрямление переменного напряжения. Однако пройдя через диодный мост напряжение не становится постоянным, оно становится пульсирующим. Чтобы сгладить пульсации выходного напряжения используется конденсатор С702.

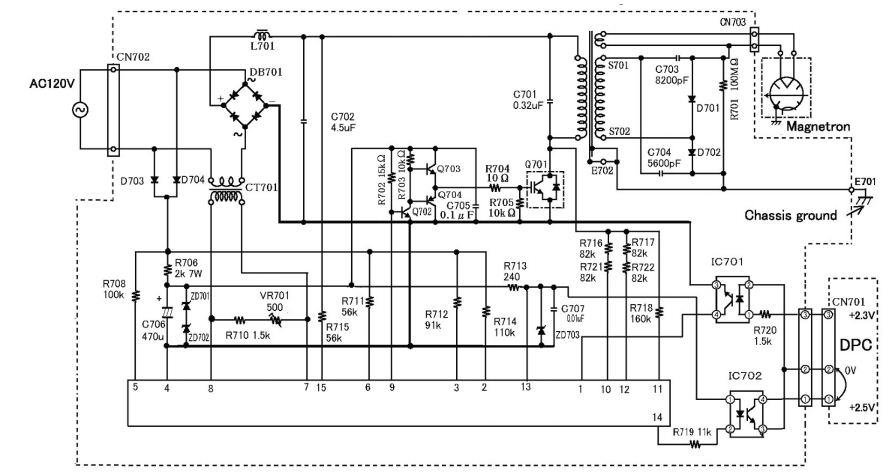


Рисунок 3.2 – схема электрическая принципиальная модуля преобразования

Выходной сигнал этой части модуля показан на рисунке 3.3

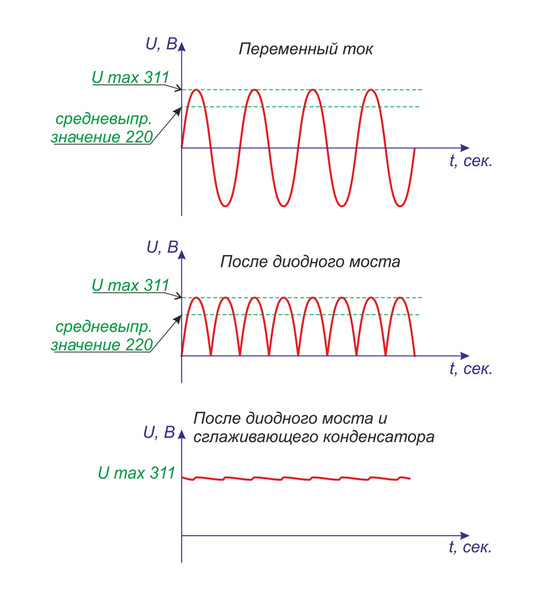


Рисунок 3.3 – преобразование напряжения диодным мостом [11]

Далее располагается блок генератора импульсов. Основным его элементом является силовой транзистор, являющийся в схеме инвертором. Перед ним в схеме реализован ключ на двух биполярных транзисторах. Данный блок контролируется микросхемой управления к которой подключён ШИМ генератор, показанной внизу рисунка 3.2. Взаимодействие этих блоков реализует принцип обратной связи.

Следующими блоками являются силовой импульсный трансформатор и выходной выпрямитель. Импульсный трансформатор значительно повышает напряжение, которое снимается со вторичной обмотки и попадает на диоды D702, D701 и конденсаторы C703, C704 которые в свою очередь выполняют две функции: выпрямление импульсов, увеличение значения напряжения в два раза. Преобразованное напряжение питающее СВЧ магнетрон может иметь значение до -4кВ.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате выполнения преддипломной практики проведен анализ литературно *–* патентных исследований и обзор методов и средств синтеза частот большой мощности; проведено общетехническое обоснование разработки устройства, которое включает в себя анализ исходных данных, формирование основных технических требований к разрабатываемой конструкции, схемотехнический анализ проектируемого средства.

Проработаны два основных раздела дипломного проекта: анализ литературно – патентных исследований и выбор элементной базы в котором описывается, какие функциональные модули используются в процессе проектирования устройства.

Составлен план проспект пояснительной записки и графической части дипломного проекта.

Схема электрическая структурная оформлена с применением пакета прикладного программного обеспечения *AutoCAD*.

Схема электрическая принципиальная модуля преобразования напряжения оформлена с применением пакета прикладного программного обеспечения *AltiumDesigner*.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

[1] Алексеев В.Ф. Электронный ресурс по учебной дисциплине «Проектирование электронных модулей, устройств и систем». Комплекс для студентов специальности 1–39 02 01 «Моделирование и компьютерное проектирование РЭС» / В.Ф. Алексеев, Г.А. Пискун // ЭРУД БГУИР [Электронный ресурс] / БГУИР. – Минск, 2016.

[2] Магнетрон [Электронный ресурс]– Режим доступа: <http://electricalschool.info/spravochnik/eltehustr/1247-kak-ustroen-i-rabotaet-magnetron.html>

[3] Магнетрон [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: https://www.elremont.ru/svch/bt\_rem23.php

[4] Патентные исследования: виды, порядок и стоимость проведения [Электронный ресурс]– Режим доступа: https://patentural.ru/zhurnal/patentnii-issledovania/

[5] Источник питания для магнетрона [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.freepatent.ru/patents/2575166>

[6] Источник питания магнетрона [Электронный ресурс]– Режим доступа: <https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=2&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=20211116&CC=CN&NR=214736058U&KC=U>

[7] Блок питания магнетронов непрерывного генерирования [Электронный ресурс]– Режим доступа: <http://allpatents.ru/patent/2450414.html>

[8] Блок питания магнетронов непрерывного генерирования [Электронный ресурс]– Режим доступа: [http://apelvac.com/catalog/groups/27/]

[9] ШИМ генератор сигналов [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://freedelivery.company/p/1207518159-generator-shim-signala-signalov-zhk-1gc-150kgc-3-3-30v-xy-lpwm/

[10] Схема электрическая принципиальная [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://monitor.espec.ws/files/inv_sch_680.png>

[11] Выходная характеристика диодного моста [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://electroandi.ru/elektronika/vypryamiteli/diodnyj-most-printsip-raboty-i-skhema.html

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**

**(обязательное)**

Техническое задание

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**

**(обязательное)**

Справка о литературно-патентном поиске

**ПРИЛОЖЕНИЕ В**

**(обязательное)**

План-проспект дипломного проекта

**ПРИЛОЖЕНИЕ Г**

**(обязательное)**

Схема электрическая структурная

**ПРИЛОЖЕНИЕ Д**

**(обязательное)**

Схема электрическая принципиальная