

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

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

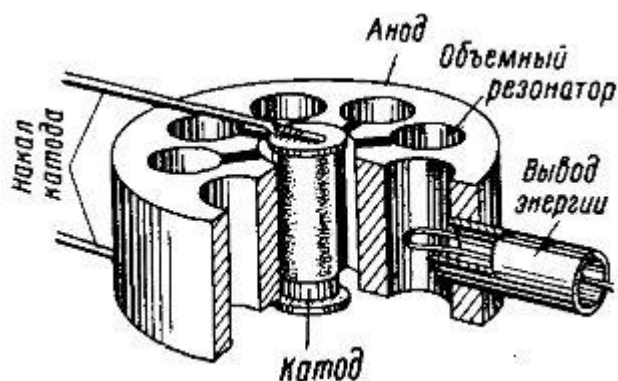


Рисунок 1.1 – Анодный блок магнетрона

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.

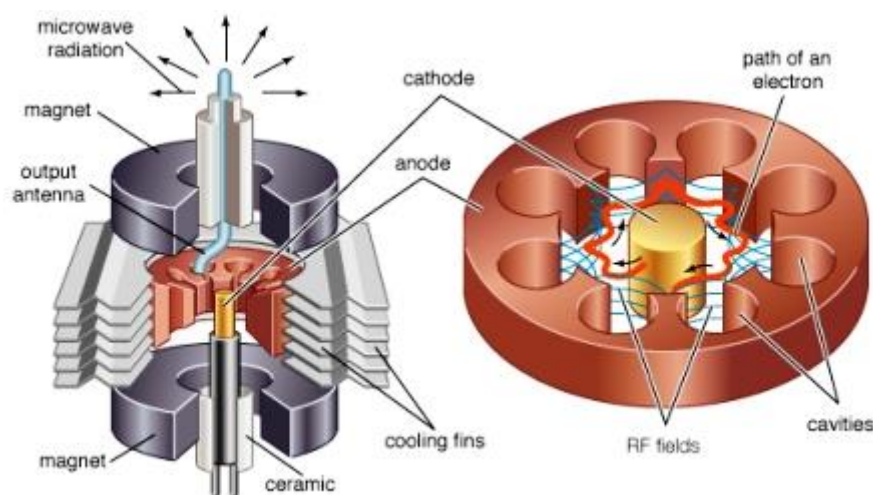


Рисунок 1.2 – Устройство магнетрона

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 электрорадиотехники.

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 источника 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 АД и цифровой последовательный интерфейс микроконтроллера используются соответственно для при-

ема 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 электрорадиотехники. 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. Вслед-

ствие 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 стабильную 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;

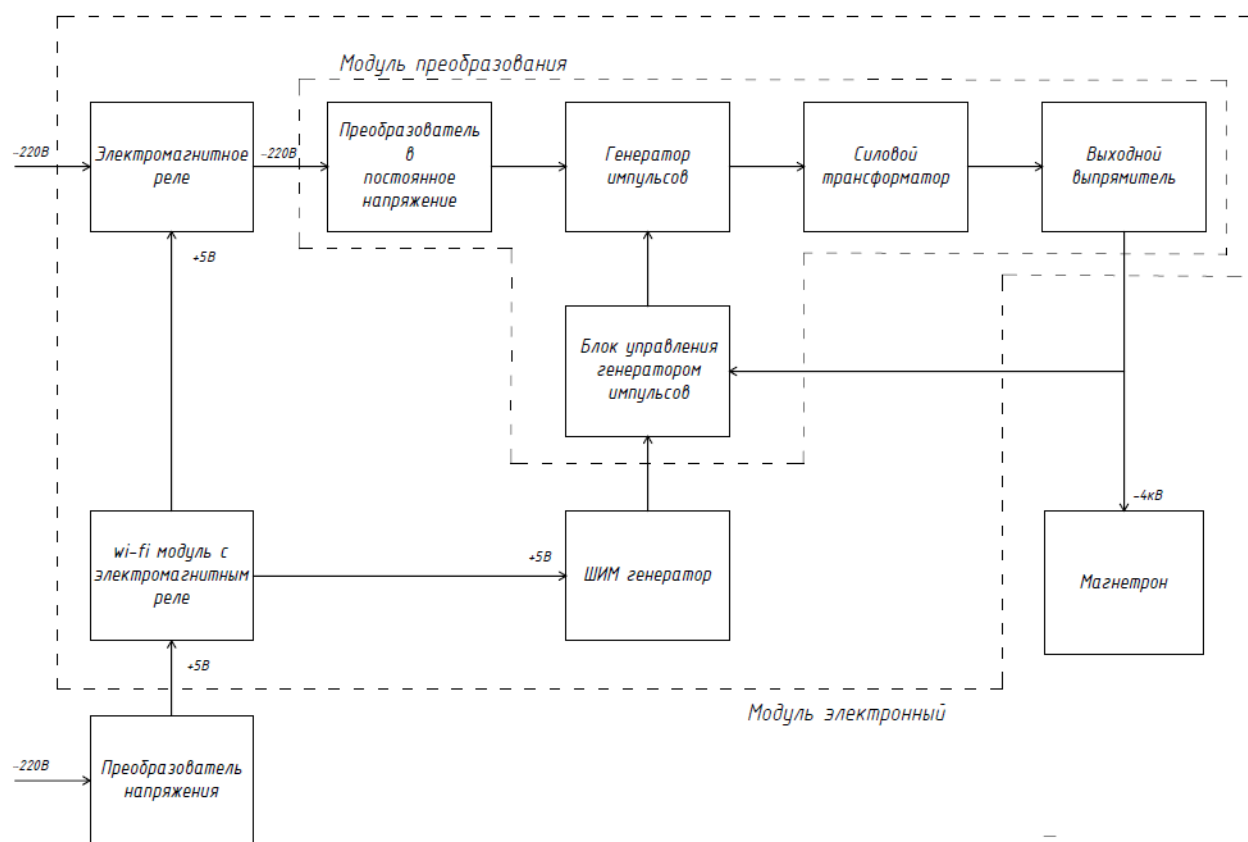


Рисунок 2.1 – Схема структурная

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 загружена прошивка, которая образует

WIFI-UART мост для подключения к другому микроконтроллеру, в том числе и к *Arduino*. Настройка и обмен данными происходят с помощью *AT* 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 для 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 $U_a = 4,0$ 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].

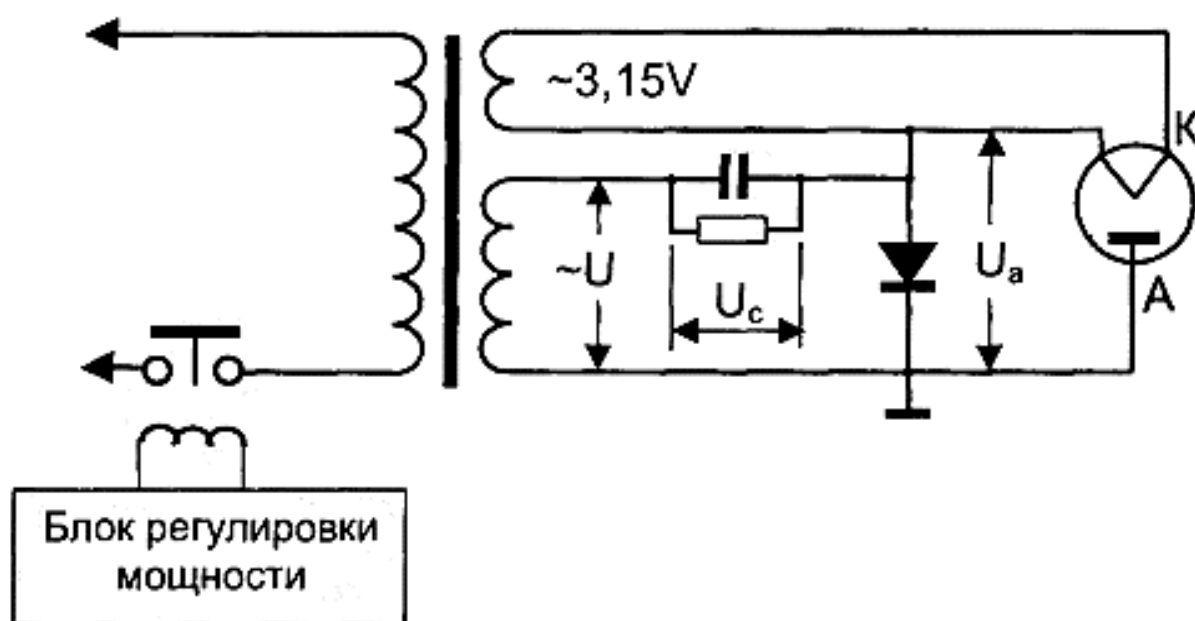


Рисунок 3.1 – упрощённая схема блока питания магнетрона

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 C702.

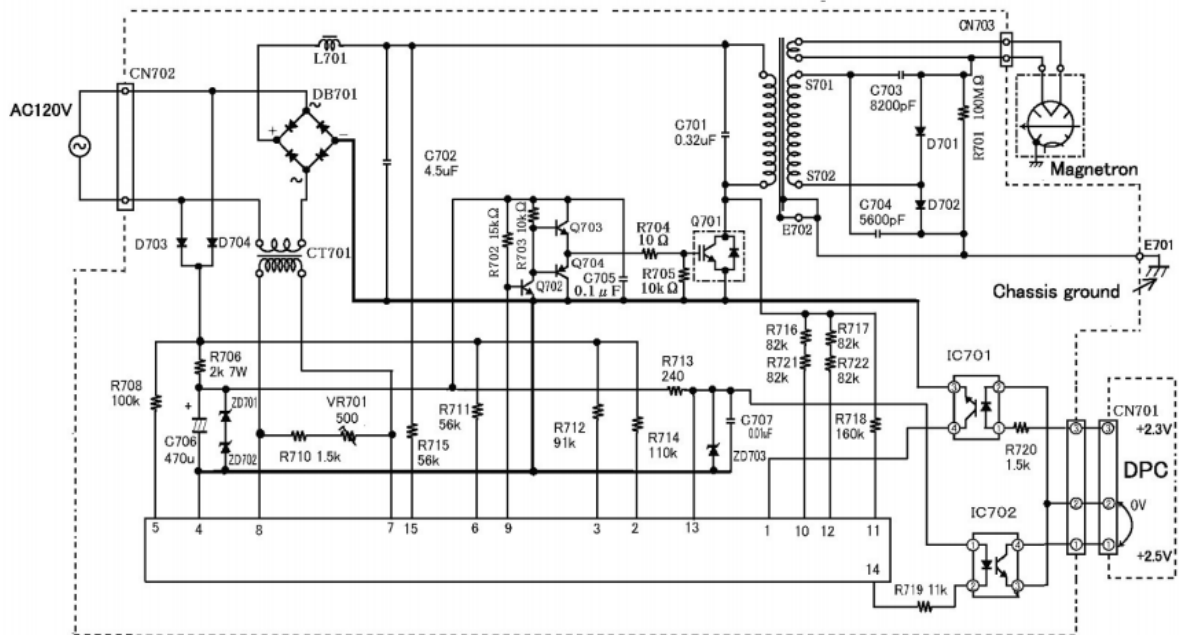


Рисунок 3.2 – схема электрическая принципиальная модуля преобразования

Выходной сигнал этой части модуля показан на рисунке 3.3

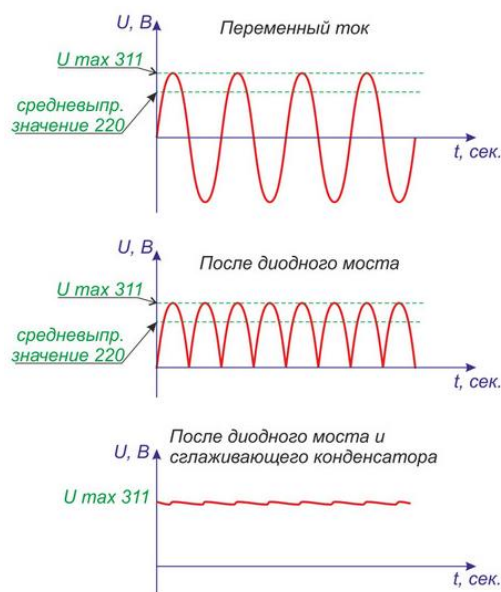


Рисунок 3.3 – преобразование напряжения диодным мостом [11]

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 проспекта 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/eltehuistr/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/vypriamiteli/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