

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АБУ РАЙХАНА БЕРУНИ

На правах рукописи

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

на получение степени магистра

Ирмухамедов Сарвар Бахтиярович

**МЕДИЦИНСКАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ  
ОТОЛАРИНГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ**

по специальности 5А320313 – «Машины и оборудования медицины,  
биомедицины»

Руководитель к.ф-м.н.

Ҳайдаров Али Ҳасанович

Ташкент - 2014

## Аннотация++++

Данная диссертационная работа посвящена изучению принципа работы высокочастотных генераторов для медицинской техники. В процессе выполнения научной работы подробно изучено основные методы получения высокочастотных импульсов.

**В первой главе** описываются все основные виды и характеристики высокочастотных генераторов. Рассмотрены основные элементы, изучены схемы для их построения. Изучены основные условия получения электрических колебаний.

Способность элементов или отдельных устройств по-разному воздействовать на переменные напряжения различных частот называют их избирательным свойством. Приведено описание LC-цепочек, обладающие таким свойством.

Анализированы графики изменения коллекторных напряжений в различных видах мультивибратора.

**Во второй главе** приведены основные параметры мультивибратора, условия работы мультивибратора. Рассмотрены структурные схемы мультивибраторов и графики частоты. Предложена схема мультивибратора, которая обеспечивает устойчивую работу мультивибратора при сравнительно небольших изменениях одного из сопротивлений, и тем самым можно менять частоту в четыре - восемь раз, что в других схемах можно сделать только за счет изменения емкости.

Обосновано, что выбор мультивибратора, как основного генератора является оптимальным, так как создание прототипа медицинского аппарата для коагуляции, требует меньше всего затрат на элементную базу и более прост в схематическом отношении.

**В третий главе** приводятся расчеты выпрямителя переменного тока и силового трансформатора, необходимого для создания прототипа медицинского аппарата для коагуляции. Приводятся электрические схемы данного аппарата, силового трансформатора и блока питания. Описывается вся элементная база аппарата, приводятся схемы

конденсаторов и индуктивности. Так же в главе отображены изображения внешнего и внутреннего вида аппарата в готовом виде и приведены основные технические параметры.

На основе изученной теории создан прототип медицинского коагулятора малой мощности.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение.....</b>	<b>5</b>
<b>Глава I. Высокочастотные электронные генераторы.....</b>	<b>9</b>
<b>для медицинской техники.....</b>	<b>9</b>
1.1. Общие сведения о генераторах .....	9
1.2. Основные условия получения электрических колебаний.....	10
1.3. Классификация генераторов. ....	13
1.4. Генераторы гармонических колебаний. RC-генераторы .....	15
1.5. LC-генераторы .....	21
1.6. Генераторы на логических элементах.....	26
1.7. Генераторы импульсов напряжения прямоугольной формы. Превращение усилителя в генератор.....	29
1.8. Принцип работы мультивибратора.....	31
Выводы по главе 1 .....	35
<b>Глава II. Создание генератора на основе мультивибратора .....</b>	<b>36</b>
2.1. Основные параметры и работа мультивибратора .....	36
2.2. Транзисторные генераторы.....	39
Выводы по главе 2 .....	43
<b>Глава III. Разработка аппарата для коагуляции на основе высокочастотного генератора.....</b>	<b>44</b>
3.1 Расчёт выпрямителя переменного тока.....	47
3.2 Расчёт силового трансформатора .....	48
3.3 Электрическая схема аппарата.....	53
3.4 Описание элементной базы аппарата.....	56
3.5 Конденсаторы .....	58
3.6 Индуктивности.....	60
3.7. Внешний вид аппарата.....	62
Выводы по главе III .....	65
<b>Заключение .....</b>	<b>65</b>
<b>Список использованной литературы .....</b>	<b>66</b>

## **Введение**

Электронный генератор представляет собой устройство, преобразующее электрическую энергию источника постоянного тока в энергию незатухающих электрических колебаний требуемой формы, частоты и мощности.

По принципу работы и схемному построению различают генераторы с самовозбуждением (автогенераторы) и генераторы с внешним возбуждением, которые по существу являются усилителями мощности генерируемых колебаний заданной частоты[1].

Электронные автогенераторы подразделяются на автогенераторы синусоидальных (гармонических) колебаний и автогенераторы колебаний несинусоидальной формы, которые принято называть релаксационными (импульсными) автогенераторами.

Являясь первоисточником электрических колебаний, генераторы с самовозбуждением широко используются в радиопередающих и радиоприемных (супергетеродинных) устройствах, в измерительной аппаратуре, в ЭВМ, в устройствах телеметрии и т. д.[2].

По диапазону генерируемых частот генераторы делятся на низкочастотные (от 0,01 Гц до 100 кГц), высокочастотные (от 100 кГц до 100 МГц) и сверхвысокочастотные (от 100 МГц и выше).

Широкое внедрение сложных радиоэлектронных устройств в различные отрасли народного хозяйства ставит перед разработчиками радиоаппаратуры две важнейшие задачи: повышение ее надежности и уменьшение массы и габаритов. Надежность аппаратуры в настоящее время повышается за счет применения соответствующей элементной базы и специальных методов построения систем, а основным направлением миниатюризации избирательных и автоколебательных низкочастотных систем, ввиду отсутствия реальных путей

миниатюризации катушек индуктивности, является внедрение активных избирательных RC-цепей (активных RC-фильтров и RC-генераторов).

Широкому распространению транзисторных RC-генераторов синусоидальных колебаний способствует простота изготовления, существующие высокостабильные конденсаторы и сопротивления, стабильные операционные и интегральные усилители, а также технологическая перспективность, если учесть прогресс технологии микромодулей и цепей на основе твердого тела.

В представленной диссертационной работе нами применены высокочастотные генераторы этой группы при создании образца высокочастотного коагуляционного аппарата, широко применяемой в медицине, в частности в хирургии.

Известно, что в современной хирургии широко применяется техника высокочастотного резания мягких тканей, а также высокочастотная коагуляция разрезаемых тканей и сосудов. Применение высокочастотных скальпелей и коагуляторов обусловлено высокой скоростью резания при проведении операций, малыми кровопотерями, а также более быстрым восстановлением тканей в области разреза. Высокая частота электрических колебаний позволяет сконцентрировать основную энергию в малой области воздействия, что значительно снижает болевые и другие побочные эффекты при проведении операций. Выделение большого количества тепла в небольшой зоне разрезаемых либо коагулируемых тканей приводит к одновременной стерилизации зоны пореза, благотворно влияя на послеоперационное заживление. Регулировка выходной мощности в широких пределах позволяет проводить операции, как на небольших участках оперируемого объекта, так и на значительных площадях. Необходимое для электрохирургии интенсивное образование тепла в области воздействия обеспечивается применением активного электрода

с поверхностью во много раз меньшей, чем поверхность второго (пассивного) электрода – это так называемая монополярная методика. Соответственно возрастает плотность тока в месте прикосновения активного электрода к тканям тела, что и обуславливает необходимый эффект действия тока.

Имеются два основных вида электрохирургии: сваривание ткани – электрокоагуляция и рассечение ткани – электротомия[3].

При электрокоагуляции активный электрод в форме шара или плоской поверхности плотно прижимается к ткани, после чего на несколько секунд включается высокочастотный ток. Ткань под электродом нагревается до температуры 60 – 80 градусов, при которой происходит необратимое свертывание тканевых белков. Внешне это проявляется в побелении ткани около краев электрода. Глубина действия электрокоагуляции обычно не превышает размеров примененного электрода, что объясняется резким уменьшением плотности тока с увеличением расстояния до электрода. Для усиления коагулирующего эффекта обычно используют модулированные, а не непрерывные высокочастотные колебания, что позволяет не перегревать ткани. Важной областью применения электрокоагуляции является остановка кровотечений при операциях, да и в ходе операции с использованием электроскальпеля кровопотери оказываются минимальными.

Электрокоагуляция используется в самых различных областях медицины – начиная с удаления папиллом, бородавок, грануляций, умерщвления нерва зуба в стоматологии, в косметологии и кончая внутриполостными операциями.

При более быстром движении электрода по краям раны остается только тончайший слой коагулированной ткани и разрез почти не отличается от разреза скальпелем. При медленных перемещениях

активного электрода образуется струп. Еще более выраженный коагулирующий эффект можно получить используя модулированный высокочастотный электрический ток.

Коагуляция краев раны вместе с сосудами, помимо устраниния потерь крови и облегчения работы хирурга, исключает также проникновение инфекции в кровяное русло и лимфатические пути. Частицы ткани, попадающие на активный электрод, разрушаются, что сохраняет стерильность электрода и исключает возможность переноса злокачественных клеток на здоровый участок ткани.

Таким образом, преимущества электрохирургических скальпелей перед обычными скальпелями очевидны. Основным препятствием широкого распространения электрохирургических аппаратов в Республике является их высокая стоимость, особенно аппаратов с высокой выходной мощностью (более 200 Ватт), а также то, что производство мощных электрохирургических аппаратов не налажено. Поэтому в рамках проекта ставилась актуальная для хирургической практики Республики задача – разработать и создать электрохирургический скальпель большой мощности (более 250 Ватт), решение которой ускорит в дальнейшем наладить их производство для удовлетворения потребностей стационаров и клиник приборах такого рода. Стоимость такого прибора должна быть в несколько раз меньше зарубежных аналогов, он должен быть импортозамещающим. Важным компонентом данного проекта будет также налаживание гарантийного и послегарантийного обслуживания выпущенных приборов, что также является большим плюсом, так как ремонт зарубежной техники или сильно затруднен или требует значительных затрат.

# Глава I. Высокочастотные электронные генераторы для медицинской техники

## 1.1. Общие сведения о генераторах

Речь, музыка или изображения передаются на большие расстояния с помощью электромагнитных волн. Электромагнитные волны создаются переменным током высокой частоты, подводимым к передающей антенне, а для получения высокочастотного переменного тока используются электронные генераторы, входящие в состав радиопередатчика. Электронный Генератор является основой и электромузикальных инструментов (ЭМИ). Когда нажимают на клавишу ЭМИ, включается один из генераторов, вырабатывающий переменный ток определенной частоты. Этот ток затем усиливается и поступает в громкоговоритель, в результате чего слышен звук определенного тона. Нажав на другую клавишу ЭМИ, включают второй генератор (или изменяют параметры первого генератора), вырабатывающий переменный ток иной частоты, и слышен звук другого тона. Генераторы широко используются для настройки контуров радиоприёмника, фильтров, телевизоров, отклонения луча в электронно-лучевых трубках осциллографов и телевизоров и т. д. Даже исходя из этих примеров, не охватывающих всех областей применения генераторов, можно считать, что после усилителя генератор — одно из самых распространенных устройств радиоэлектронной аппаратуры.

Напряжение на выходе генератора может иметь синусоидальную либо другую форму, например прямоугольных или треугольных импульсов. Поэтому, генератором называют электронное устройство, преобразующее напряжение питания (постоянное напряжение) в напряжение (или ток) изменяющееся во времени по определенному, свойственному этой схеме[1].

Бывают генераторы с независимым, или внешним, возбуждением и с самовозбуждением. Генераторы с независимым возбуждением без внешнего источника создавать электрические колебания не могут и служат для усиления мощности колебаний, подаваемых на их вход от других устройств. Такие генераторы часто называют усилителями мощности. Чтобы получить мощные усиленные колебания, необходимо иметь маломощный источник этих колебаний. Им и является генератор с самовозбуждением. Самовозбуждение означает, что для получения колебаний в таком генераторе не нужен дополнительный источник электрических колебаний, колебания тока и напряжения происходят в самом генераторе при подаче на него напряжения питания автоматически (отсюда второе, название генератора с самовозбуждением — автогенератор).

## 1.2. Основные условия получения электрических колебаний

Что же представляет собой и как работает автогенератор? Чтобы ответить на этот вопрос, вернемся к принципу усиления электрических колебаний и влиянию отрицательной обратной связи (ООС) на коэффициент усиления[2,13].

На рис.1 представлены три схемы усилителей.

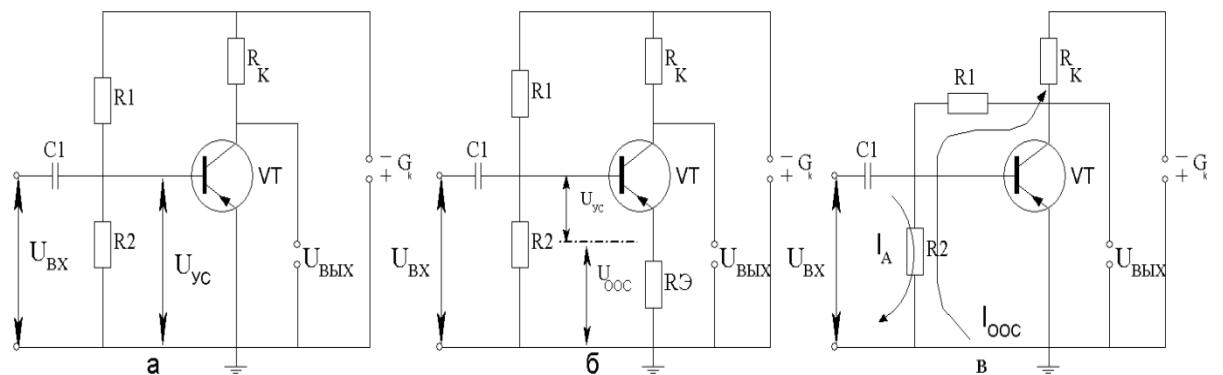


Рис.1. Схемы транзисторных усилителей:

*a* — бер обратной связи; *b* — ООС по току; *c* - с ООС по напряжению

Если считать, что коллекторные нагрузки  $R_K$  транзисторов, во всех схемах одинаковы и резисторы  $R_1$  и  $R_2$  подобраны такими, что транзисторы находятся в одинаковых режимах, то при подаче равных переменных напряжений на входы этих усилителей значения усиленных напряжений на выходах усилителей будут различными. Наибольшее напряжение будет на выходе первой схемы, так как в ней усиливается практически все входное напряжение, т. е.  $U_{yc}=U_{bx}$ . Во второй схеме напряжение, усиливаемое транзистором, меньше входного напряжения на величину напряжения ООС, выделяемого на резисторе  $R_3$  т. е.,  $U_{yc}=U_{bx}-U_{ooc}$ , поэтому выходное напряжение меньше, чем в первой схеме. В третьей схеме часть выходного напряжения через делитель поступает на вход усилителя. Но, поскольку коллекторное (выходное) напряжение усилителя в схеме с ОЭ находится в противофазе с базовым (входным) напряжением, эта часть выходного напряжения  $U_{vixR_2}/(R_1+R_2)$ , создаваемая на резисторе  $R_2$ , будет в противофазе с входным напряжением, выделяющимся на этом же резисторе, вследствие чего усилится не все входное напряжение, а лишь напряжение  $U_{yc}=U_{bx}-U_{vixR_2}/(R_1+R_2)$ .

Таким образом, часть выходного напряжения усилителя, передаваемая тем или иным способом во входную цепь в противофазе с входным напряжением, является напряжением ООС. Оно уменьшает результирующее напряжение между входными электродами транзистора (а также лампы или другого активного элемента), что приводит к снижению выходного напряжения, а это равносильно уменьшению коэффициента усиления усилителя.

А что произойдет, если на вход усилителя подавать часть напряжения с его выхода не в противофазе, а в фазе? В этом, случае напряжение обратной связи уже не вычитается, а складывается с

входным напряжением, и к входным электродам транзистора прикладывается не разностное, а суммарное напряжение:

$$U_{YC} = U_{BX} + U_{POS}.$$

Напряжение на выходе такого усилителя больше, чем в усилителе без обратной связи, не говоря уже об усилителях с ООС.

Обратную связь, при которой часть выходного напряжения передается во входную, цепь в фазе с входным сигналом, называют положительной обратной связью (ПОС). Следовательно, ПОС вызывает повышение выходного напряжения, что воспринимается как увеличение коэффициента усиления усилителя по отношению к входному напряжению. С увеличением ПОС возрастет результирующее (суммарное) напряжение во входной цепи. Если же напряжение ПОС больше, чем напряжение, подаваемое на входные зажимы усилителя, то, видимо, усиливаемое напряжение  $U_{YC} = U_{BX} + U_{POS} \approx U_{POS}$ . При отключении в данном случае от входных зажимов источника входного переменного напряжения колебания в схеме не прекратятся, а будут поддерживаться в ней за счет действия ПОС[10].

Теперь становится ясным, что для превращения усилителя в генератор нужно выполнить два требования:

- 1) обеспечить действие ПОС в схеме с выхода на вход (условие баланса фаз);
- 2) предусмотреть такую величину ПОС, которая была бы достаточной для поддержания в схеме изменений напряжений и токов по закону, свойственному этой схеме, сколь угодно длительное время (условие баланса амплитуд).

### **1.3. Классификация генераторов.**

На современных предприятиях, судах, заводах, транспорте с электроэнергетической системой постоянного тока в качестве источников электрической энергии используются генераторы постоянного тока. Это такие электромеханические устройства, которые преобразуют механическую энергию первичного двигателя (паровой или газовой турбины, дизеля) в электрическую. В зависимости от типа первичного двигателя генераторы делятся на турбогенераторы, газогенераторы, дизель - генераторы. В электроэнергетических системах на переменном токе для питания потребителей постоянного тока используют электромашинные преобразователи, которые представляют собой агрегат, состоящий из приводного двигателя переменного тока и генератора постоянного тока[4].

По способу возбуждения генераторы постоянного тока делятся на две группы — генераторы независимого возбуждения и генераторы с самовозбуждением. Генераторы с независимым возбуждением разделяются на магнитоэлектрические генераторы и генераторы с электромагнитным возбуждением. У магнитоэлектрических генераторов основной магнитный поток создается постоянными магнитами. В генераторах с электромагнитным возбуждением магнитный поток создается одной или несколькими обмотками возбуждения, расположенными на главных полюсах машины. Обмотка возбуждения генератора независимого возбуждения получает питание от постороннего источника электрической энергии постоянного тока (рис.1, а).

В генераторах с самовозбуждением обмотки возбуждения получают питание от самого генератора. На возбуждение в зависимости от мощности генератора расходуется (0,3...5)% номинальной мощности.

Генераторы с самовозбуждением в зависимости от способа включения обмоток возбуждения в электрическую цепь машины подразделяются на генераторы параллельного возбуждения (шунтовые) (рис.2, б), генераторы последовательного возбуждения (серисные) (рис.2, в) и генераторы смешанного возбуждения (компаундные) (рис.1, г).

В генераторах параллельного возбуждения обмотка возбуждения включается параллельно обмотке якоря. Обычно эти обмотки выполняются с большим числом витков из проводников небольшого сечения. По ним проходит ток возбуждения, который составляет (1...5)% номинального тока. В этих машинах ток якоря  $I_a$  равен сумме токов нагрузки  $I_h$  и возбуждения  $I_b$ .

Генераторы последовательного возбуждения имеют обмотку возбуждения, включенную последовательно с обмоткой якоря. При этом ток нагрузки  $I_h$ , ток якоря  $I_a$  и ток возбуждения  $I_b$  являются одним и тем же током. Последовательная обмотка рассчитывается на номинальный ток машины и выполняется из проводников большого сечения с небольшим числом витков.

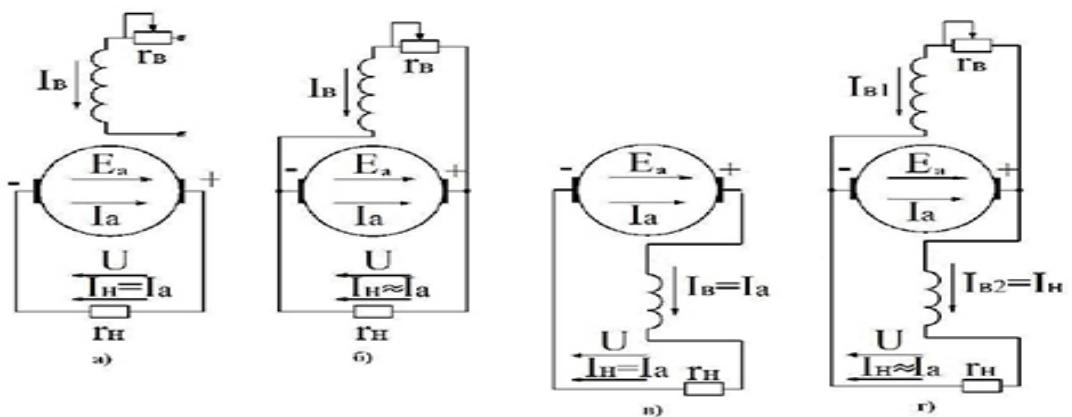


Рис. 2 – Схемы генераторов независимого (а), параллельного (б), последовательного (в), смешанного (г) возбуждения

Генераторы смешанного возбуждения имеют две обмотки возбуждения, параллельную, включенную параллельно обмотке якоря и последовательную, включенную последовательно с обмоткой якоря. Если эти обмотки включены так, что создаваемые ими МДС совпадают по направлению, т.е. складываются, то такое включение называется согласным. Если МДС не совпадают по направлению, т.е. вычитаются, то включение называется встречным. Обычно применяют согласное включение обмоток. У генераторов смешанного возбуждения основная МДС создается параллельной обмоткой.

В цепях обмоток параллельного и независимого возбуждения для регулирования тока возбуждения включают регулировочные реостаты. В судовых электроэнергетических системах применяют генераторы независимого, параллельного и смешанного возбуждения.

#### **1.4. Генераторы гармонических колебаний. RC-генераторы**

Мультивибратор вырабатывает колебания электрического тока в виде импульсов прямоугольной формы. В нем, как уже отмечалось, условия, баланса фаз и амплитуд выполняются одновременно для самых различных, колебаний. Эти колебания с разными частотами, фазовыми сдвигами относительно друг друга и амплитудами, складываясь, и создают колебания прямоугольной формы, обычно называемые прямоугольными импульсами.

Если требуется генератор гармонических колебаний, выходное напряжение которого изменяется по синусоидальному закону с определенной частотой, то необходимо, чтобы самовозбуждение возникло только для этой частоты. Нужный дополнительный сдвиг

напряжения на  $180^\circ$  можно получить с помощью показанных на рис.3 цепочек состоящих из резисторов и конденсаторов.

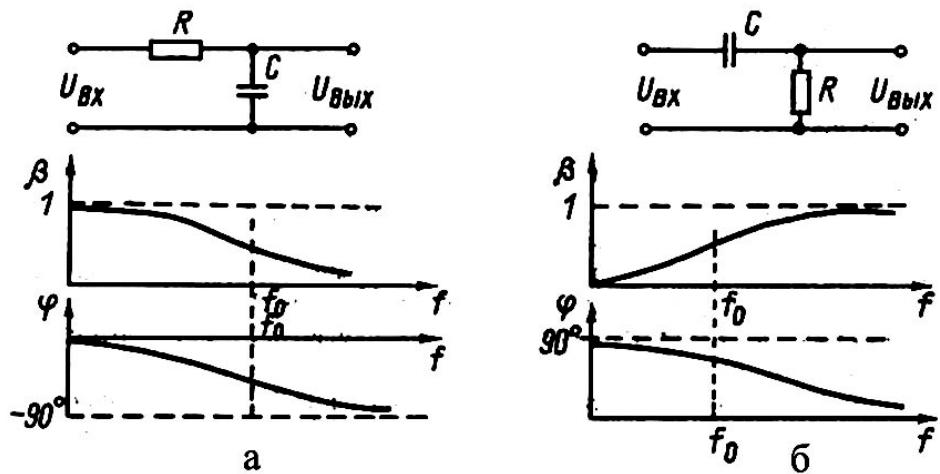


Рис. 3. С-цепи и их амплитудные и фазовые характеристики

*a)* С-параллель *б)* R-параллель

На этом же рисунке под каждой цепочкой приведены графические зависимости коэффициентов передачи  $\beta=U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$  и фазовые сдвиги  $\varphi$  между выходным входным напряжениями. В цепочке на рис.3,а выходное напряжение отстает, а в цепочке на рис.3,б — опережает входное напряжение. Причем фазовый сдвиг увеличивается с ростом частоты и может достигать  $90^\circ$  (при  $f \rightarrow \infty$ ).

В области рабочих частот фазовый сдвиг между выходным и входным напряжениями меньше  $90^\circ$ , поэтому для получения фазового сдвига в  $180^\circ$  нужно, последовательно соединить три такие цепочки, каждая из которых должна на заданной частоте генерации осуществлять фазовый сдвиг, равный  $60^\circ$ .

Автогенераторы гармонических колебаний, в которых условие баланса фаз выполняется с помощью RC-цепочек, получили название генераторов гармонических колебаний. На рис.4 приведена схема RC-генератора с фазосдвигающими цепочками типа С-параллель.

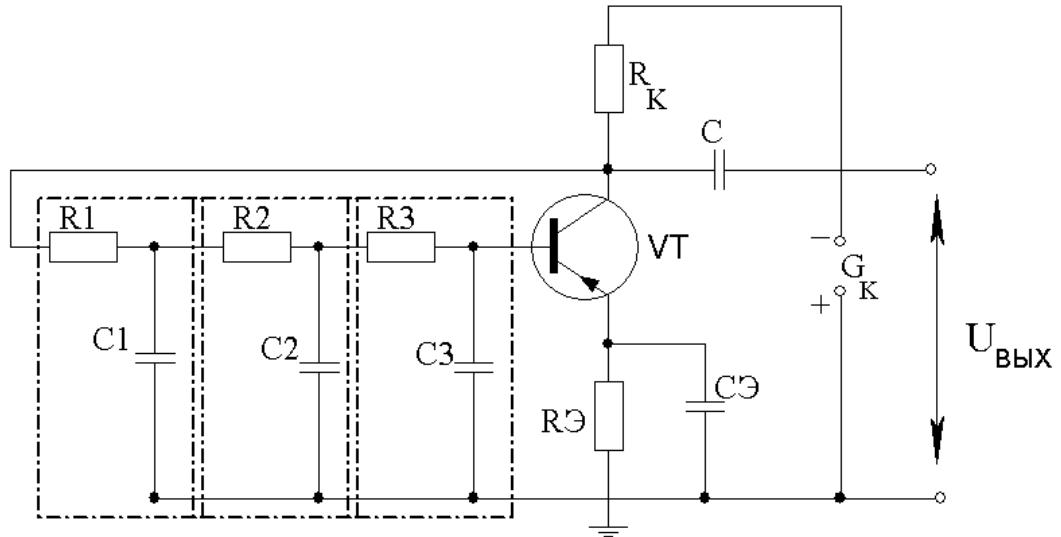


Рис. 4. Схема трехзвенного транзисторного RC-генератора с фазосдвигающими цепочками типа С-параллель

Дополнительный сдвиг фаз создается тремя последовательно включенными цепочками  $C1R1, C2R2, C3R3$ .

Если  $C1=C2=C3=C$  и  $R1=R2=R3=R$ , то на частоте  $f_0$ , называемой квазирезонансной,  $f_0 = \sqrt{\frac{6}{2\pi RC}}$ , и каждая из этих цепочек создает сдвиг фаз на  $60^\circ$ , так что дополнительный суммарный сдвиг фаз между выходным и входным напряжениями оказывается для этой частоты равным  $180^\circ$ .

Для переменных напряжений с частотами, меньшими, чем резонансная ( $f < f_0$ ), суммарный дополнительный сдвиг окажется меньше, чем  $180^\circ$ , а для напряжений с частотами, большими, чем резонансная ( $f > f_0$ ), суммарный фазовый сдвиг будет больше  $180^\circ$ .

Выходное напряжение, проходя через фазосдвигающие цепочки, ослабляется. Общее ослабление в трехзвенной цепи, изображенной на рис.4, равно 29. Для получения в таком генераторе устойчивых незатухающих колебаний следует их усилить с помощью усилительной части генератора, чтобы полностью скомпенсировать затухание в

фазосдвигающих цепях. В данном случае коэффициент усиления усилителя должен быть равен 29.

При меньшем усиении колебания, возникшие в генераторе в момент, включения, быстро уменьшаются до нуля, или, как говорят в этом случае, быстро затухнут. При большем коэффициенте усиления условие самовозбуждения выполняется и для других гармоник, частоты которых отличаются от резонансной. Тогда в выходном напряжении будет содержаться одновременно несколько гармонических составляющих, и его форма уже не будет чисто синусоидальной, а будет носить иной характер. При очень большом усиении напряжения усилительной частью генератора выходное напряжение вместо синусоидальной формы приобретет вид последовательных прямоугольных импульсов почти как в мультивибраторе.

По такому же принципу можно построить и RC-генератор с цепочками типа R - параллель (рис.5)-цепочные автогенераторы

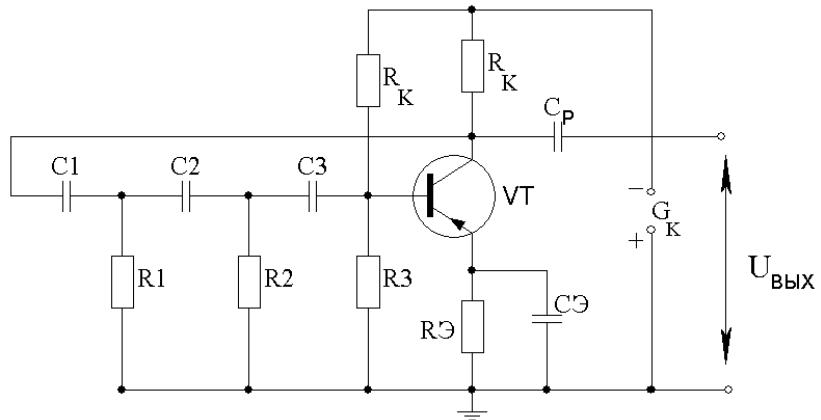


Рис. 5. Схема трехзвенного RC-генератора с фазосдвигающими цепочками типа R-параллель

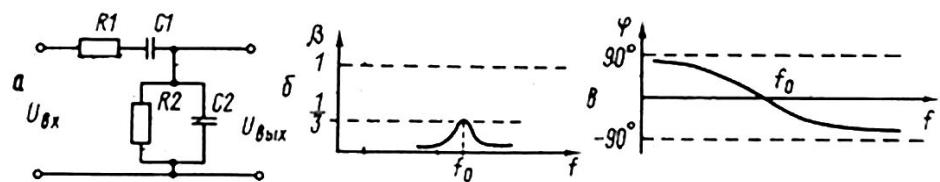


Рис. 6. Схема Г-образной частотно-избирательной ЯС-цепи (а) и ее амплитудно-частотная (б) и фазочастотная (в) характеристики

Их характерной особенностью является возможность получения дополнительного фазового сдвига на  $180^\circ$  в цепи ПОС .Они обычно применяются для генерации колебаний фиксированной частоты. Кроме рассмотренных цепочек, которые создают фазовый сдвиг на всех частотах, имеются RC- цепочки, у которых на какой-то частоте не происходит фазового сдвига между входным и выходным напряжениями. Одна из наиболее широко распространенных таких цепочек показана на рис.6а, и называется она последовательно-параллельной, или Г-образной, избирательной цепочкой. На частоте  $f_0$  фазовый сдвиг между входным и выходным напряжениями равен нулю, а коэффициент передачи  $\beta$  максимален. При выполнении условий  $R1=R2=R$  и  $C1=C2=C$ , квазирезонансная частота цепочки определяется по выражению[4]:

$f = 1/2\pi RC$ , а коэффициент передачи на этой частоте  $\beta=1/3$ . Следовательно, для выполнения условия баланса фаз в RC-генераторе с такой цепочкой усилительная часть генератора не должна вносить фазовых сдвигов, а для выполнения условия баланса амплитуд коэффициент усиления усилительной части должен быть не менее 3 (в этом случае будут полностью скомпенсированы потери в RC-цепочке). Чаще всего регенератор с Г-образной RC-цепочкой строится на базе двухкаскадного усилителя (рис.7), обеспечивающего нулевой (или  $360^\circ$ ) сдвиг между входным и выходным напряжениями на квазирезонансной частоте  $f_0$ .

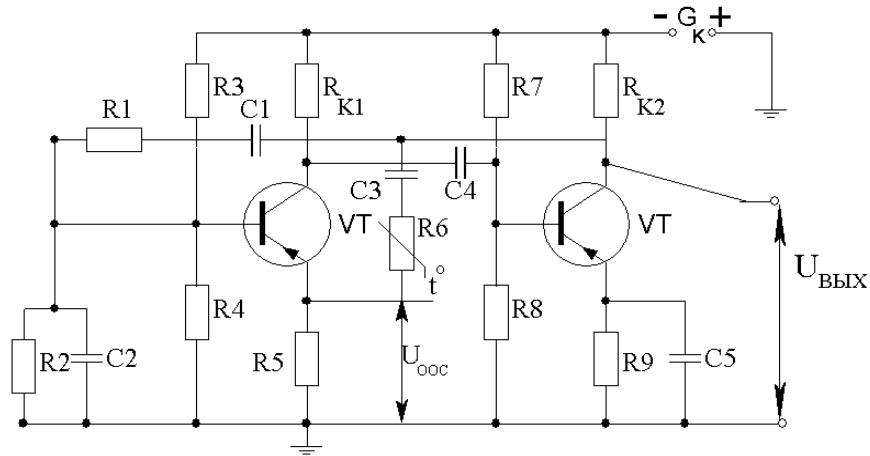


Рис. 7. Схема транзисторного RC-генератора с Г-образной избирательной RC-цепью

На этой частоте выполняется условие самовозбуждения. На других частотах условие самовозбуждения не выполняется, поскольку усиливается затухание в RC -цепочке, т. е. уменьшается коэффициент ее передачи  $\beta$  (рис.6,б) и вносится ею, дополнительный фазовый сдвиг. Поэтому генерируемые колебания будут иметь синусоидальную форму с частотой  $f_0$ .

Двухкаскадный усилитель имеет коэффициент усиления, значительно превышающий 3, поэтому усилитель охватывается ООС, состоящий из элементов С3, R6 и R5.

Напряжение ООС ( $U_{ooc}$ ), образуемое на резисторе R5, способствует уменьшению общего коэффициента усиления двухкаскадного усилителя до 3. Кроме того, такая ООС поддерживает примерно неизменной амплитуду генерируемых колебаний. Так, если амплитуда колебаний на выходе генератора в какой-то момент возрастает, это вызывает уменьшение сопротивления терморезистора R6 и увеличение  $U_{ooc}$ , что влечет за собой снижение коэффициента усиления усилителя, т. е. уменьшение амплитуды колебаний. И наоборот, если произойдет уменьшение амплитуды колебаний,

сопротивление резистора R6 увеличится, что приведет к уменьшению напряжения U<sub>ooc</sub>, повышению коэффициента усиления и амплитуды генерируемых колебаний.

В данных генераторах легко перестроить частоту, если в качестве резисторов R1 и R2 или конденсаторов C1 и C2 применять сдвоенный регулируемый резистор или блок конденсаторов переменной емкости. При изменении сопротивлений элементов R1 и R2 или емкостей конденсаторов C1 и C2 изменяется частота квазирезонанса, а следовательно, и частота колебаний.

## 1.5. LC-генераторы

Способность элементов или отдельных устройств по-разному воздействовать на переменные напряжения различных частот называют их избирательным свойством. Благодаря этому свойству элемент или устройство может почти беспрепятственно либо с минимальным ослаблением пропускать переменные напряжения одних частот и сильно ослаблять или не пропускать вовсе переменные напряжения других частот. Таким свойством обладают LC-цепочки[2]. Но еще более ярко выраженные избирательные свойства имеют колебательные контуры, в состав которых входят катушка индуктивности L и конденсатор С. Например, сопротивление переменному току цепи, состоящей из последовательно включенных L и С (последовательный контур LC, рис. 8, а), на резонансной частоте  $f_0$  равно нулю, а для переменных токов любой другой частоты оно может быть значительным. Параллельный колебательный контур (рис. 8,б) на резонансной частоте  $f_0$ , наоборот, имеет наибольшее сопротивление переменному току этой частоты, а для переменных токов иной частоты сопротивление контура намного меньше.

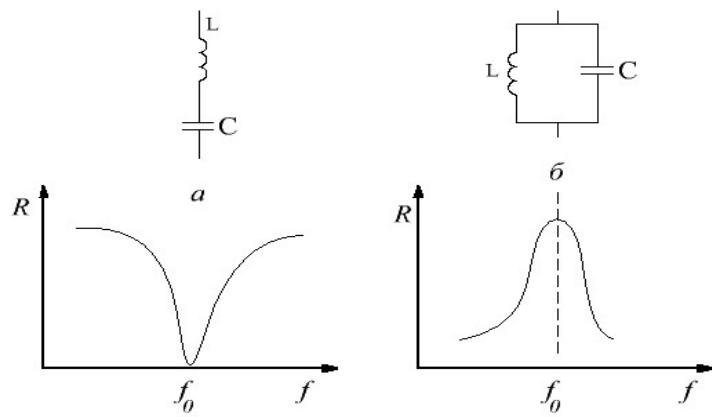


Рис. 8. Зависимости сопротивлений от частоты переменного тока последовательного (а) и параллельного (б) колебательных LC-контуров

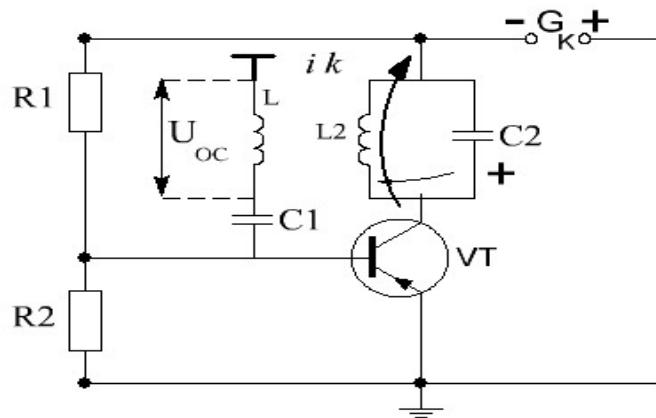


Рис.9. Схема транзисторного LC-генератора с трансформаторной ОС

В LC-генераторах гармонических колебаний обычно используется параллельный колебательный контур, который включается в коллекторную цепь транзистора[5]. Как известно, если такому контуру сообщить энергию, например, путем зарядки конденсатора, в нем возникнут электрические колебания. Вследствие потерь энергии при прохождении тока в контуре эти колебания будут носить затухающий характер и через некоторое время исчезнут. Для поддержания в контуре

незатухающих колебаний необходимо пополнять потери энергии в нем периодической подзарядкой конденсатора от источника постоянного тока. Если подзарядку осуществлять в течение каждого периода колебаний, в контуре будут поддерживаться колебания с практически неизменной амплитудой. Именно этот принцип и положен в основу действия автогенераторов LC.

На рис.9 изображена схема транзисторного LC-генератора с трансформаторной обратной связью. Такое название он получил потому, что напряжение ПОС появляется в катушке обратной связи L1 при пересечении ее витков магнитным потоком, создаваемым катушкой L2 колебательного контура. Аналогично возникает ЭДС взаимоиндукций во вторичных обмотках трансформатора при питании переменным током его первичной обмотки.

В этих схемах элементами колебательного контура являются катушка L2 и конденсатор C2. Резисторы R1 и R2 служат для обеспечения режима, в котором транзистор открыт. Рассмотрим работу такого автогенератора.

В момент включения источника питания транзистор оказывается открытым и через него проходит ток. В результате будет происходить зарядка конденсатора C2. Как только конденсатор зарядится, начнется его перезарядка через катушку индуктивности L2 т. е. в контуре возникнет колебательный процесс с частотой

$$f = 1/2\pi\sqrt{L_2C_2}$$

Переменный ток контура, протекая через катушку L2, создает вокруг нее переменное магнитное поле, наводящее в катушке L1 переменную ЭДС, которая поступает через конденсатор на базу транзистора в виде переменного напряжения обратной связи. Под действием этого напряжения (UOC) в коллекторной цепи генератора возникает переменный ток  $i_k$ , направление которого может либо

совпадать с направлением контурного тока  $i$ , образуемого перезарядкой конденсатора  $C_2$ , либо быть противоположным направлению контурного тока. В первом случае уменьшение перезарядных токов конденсатора  $C_2$  вследствие потерь в цепи контура будет компенсироваться «добавлениями» за счет переменных токов, создаваемых напряжением обратной связи. Путем подбора величины напряжения  $U_{\text{ОС}}$  можно добиться полной компенсации потерь в контуре, благодаря чему амплитуда тока перезарядки конденсатора  $C_2$  и, следовательно, возникшие в контуре колебания будут постоянными.

Во втором случае, когда меняют местами подключение концов катушки  $L_1$ , перезарядный ток конденсатора будет уменьшаться от периода к периоду не только из-за потерь в контуре, но и в связи с противоположным направлением переменного тока  $i_k$ . Появившиеся в таком контуре колебания быстро затухнут.

Помимо автогенераторов LC с трансформаторной обратной связью существуют LC-генераторы, выполненные по трехточечным схемам (рис. 10).

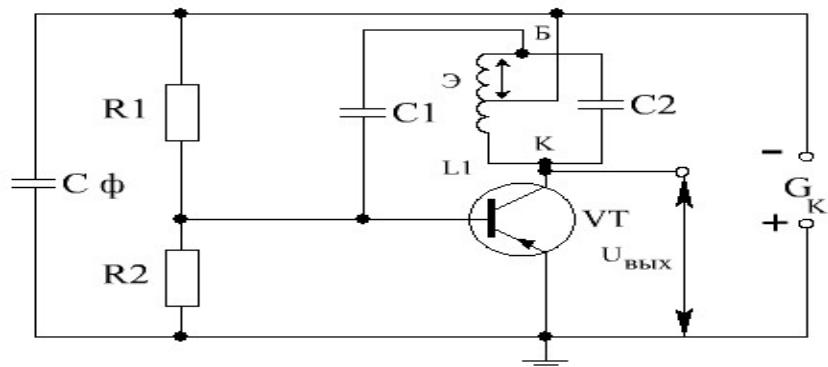
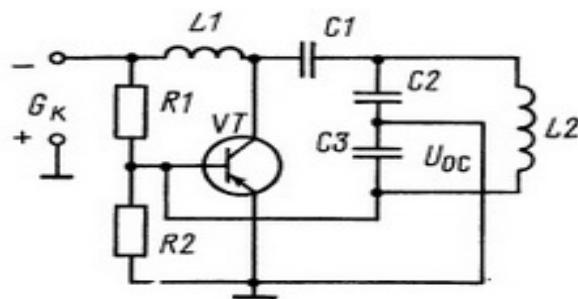


Рис.10. Схема транзисторного LC-генератора с автотрансформаторной ОС

Колебательный контур такого генератора имеет не две, а три точки, связывающие его по переменному напряжению с электродами транзистора — коллектором, эмиттером и базой[5].

Напряжение обратной связи в них снимается с части витков катушки контура между точками Э и Б. Эмиттер транзистора по переменному току через конденсатор Сф присоединяется к отводу Э катушки контура. Такое подключение обеспечивает дополнительный фазовый сдвиг на  $180^\circ$  между переменным напряжением коллектора и переменным напряжением базы, т. е. создается ПОС. Величина ПОС зависит от той части катушки L1, которая заключена между точкой Б и отводом Э. Поэтому, если сделать не один отвод, а несколько, станет легче настраивать генератор, подбирать величину напряжения ПОС, при которой амплитуда колебаний и их стабильность будут наибольшими. На рис.11 приведена схема трехточечного LC-генератора с емкостной обратной связью. Напряжение обратной связи снимается с делителя, образованного конденсаторами C2 и C3.

Поскольку сопротивление конденсатора переменному току обратно пропорционально его емкости  $X_C = 1/(2\pi fC)$ , напряжение обратной связи будет тем больше, чем больше емкость конденсатора C2 по сравнению с емкостью конденсатора C3. За счет этого такие генераторы можно настраивать путем соответствующего подбора емкостей данных конденсаторов. Следует только помнить, что оба конденсатора определяют общую емкость контура  $C = C_1 C_2 / (C_1 + C_2)$ , а значит, и частоту генерируемых колебаний.



**Рис.11. Схема транзисторного LC-генератора с емкостной ОС**

## 1.6. Генераторы на логических элементах

Разнообразные генераторы электрических колебаний могут быть сконструированы на логических элементах[6]. На рис. 14 показана схема мультивибратора, выполненного на двухходовых ЛЭ И—НЕ (2И—НЕ), у которых оба входа соединены между собой. Следовательно, сигналы на входах каждого ЛЭ всегда одинаковы и соответствуют либо логическому 0, либо логической 1. По характеру работы такой ЛЭ аналогичен ЛЭ НЕ: сигнал на выходе имеет высокий уровень (логическую 1) при низком уровне входных сигналов (соответствующих логическому 0) и наоборот.

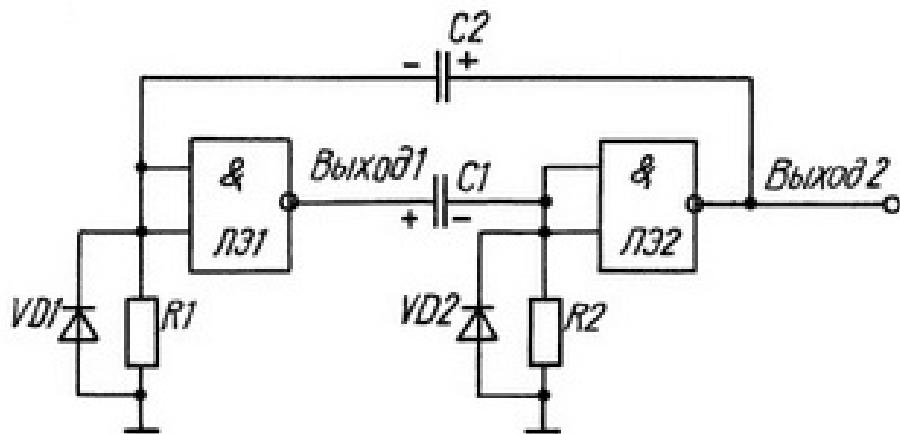


Рис.12. Схема мультивибратора на логических элементах

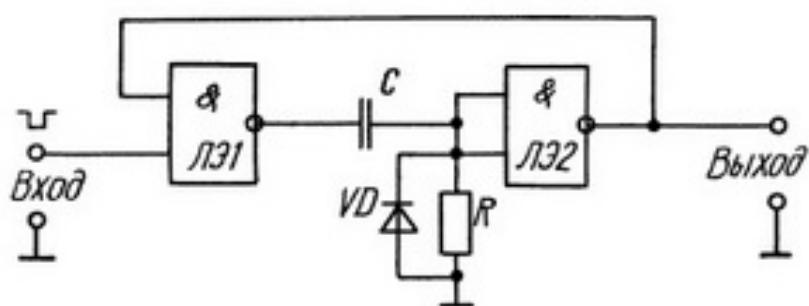


Рис.13. Схема одновибратора на логических элементах

Рассмотрим, как работает такой мультивибратор.

Предположим, что на выходе 1 ЛЭ1 имеется высокий уровень напряжения (логическая 1), а на выходе 2 ЛЭ2 — низкий уровень напряжения (логический 0). Это вызовет зарядку конденсатора С1. Ток зарядки будет протекать от высокого уровня напряжения на выходе 1 через С1 и резистор R2. Напряжение, создаваемое этим током на резисторе R2, обеспечивает логическую 1 на входах ЛЭ2 и поддерживает логический 0 на его выходе 2. Конденсатор С2, заряженный перед этим от высокого уровня напряжения, имевшегося на выходе 2 ЛЭ2, разряжается через небольшое выходное сопротивление ЛЭ2, корпус и диод VD1.

По мере зарядки конденсатора С1 ток зарядки и напряжение на входах ЛЭ2 уменьшаются. Когда напряжение, на входах ЛЭ2 уменьшится до уровня, соответствующего логическому 0 (примерно 0,3...0,4 В), напряжение на выходе 2 начнет увеличиваться и достигнет высокого уровня, соответствующего логической 1. Высокий уровень напряжения с выхода 2 через конденсатор С2 будет передан на входы ЛЭ1, и на его выходе 1 появится низкий уровень напряжения, соответствующий логическому 0. Конденсатор С1 начнет разряжаться через выходное сопротивление ЛЭ1 и диод VD1, а конденсатор С2 будет заряжаться от напряжения высокого уровня на выходе 2 через резистор R1. Ток зарядки этого конденсатора будет создавать на резисторе R1 и, следовательно, на входах ЛЭ1 напряжение логической 1, поддерживая на выходе 1 логический 0. С течением времени ток зарядки конденсатора С2 и напряжение на входах ЛЭ1 будут уменьшаться. Когда напряжение на входах ЛЭ1 станет равным логическому 0, на выходе 1 появится логическая 1, а на выходе 2 — логический 0. Мультивибратор вернется в первоначальное состояние и описанные выше процессы начнут повторяться. Если  $R1=R2$  и  $C1=C2$ , то на выходах ЛЭ1 и ЛЭ2 будут формироваться чередующиеся

положительные отрицательные прямоугольные импульсы равной длительности и амплитуды.

Автоколебательный мультивибратор, показанный на рис.11, можно преобразовать в одновибратор, или ждущий мультивибратор, исключив конденсатор  $C_2$  и цепочку, состоящую из элементов  $VD_1$  и  $R_1$  (или исключив элементы  $C_1$ ,  $VD_1$  и  $R_1$ ). Схема такого одновибратора показана на рис.14.

В исходном состоянии на входе ЛЭ1 поддерживается высокий уровень напряжения — логическая 1. Напряжение на объединенных входах ЛЭ2 равно напряжению на резисторе  $R$ , которое создается на нем входным током ЛЭ2. Так как этот ток мал, то можно считать, что на входах ЛЭ2 действует низкий уровень напряжения — логический 0, а на выходе — логическая 1, которая подается на второй вход (верхний по схеме) ЛЭ1. Таким образом, на каждом входе ЛЭ1 имеется логическая 1, и напряжение на его выходе равно логическому 0. Напряжение на конденсаторе  $C$  также близко к нулю.

При поступлении на вход отрицательного импульса (логического 0) в соответствии с таблицей состояний ЛЭ И—НЕ на выходе ЛЭ1 устанавливается высокий уровень напряжения (логический 0) и начинается зарядка конденсатора  $C$ . Ток зарядки протекает от выхода ЛЭ1 через конденсатор  $C$  и резистор  $R$ . На резисторе создается положительное напряжение, которое в виде логической 1 поступает на входы ЛЭ2 и создает на его выходе напряжение низкого уровня (логический 0). Напряжение логического 0 с выхода ЛЭ2 поступает на второй (верхний) вход ЛЭ1 и поддерживает на его выходе высокий уровень напряжения (логическую 1) после прекращения действия входного импульса.

По мере зарядки конденсатора  $C$  напряжение на входах ЛЭ2 уменьшается. Когда уровень этого напряжения станет равен

логическому 0, напряжение на выходе ЛЭ2 будет соответствовать логической 1, которое передастся на второй вход ЛЭ1. На обоих входах ЛЭ1 будут действовать напряжения высоких уровней, а на выходе — напряжение низкого уровня. Конденсатор С будет разряжаться почти до нулевого напряжения через выходное сопротивление ЛЭ1 и диод VD. В таком состоянии одновибратор будет находиться до прихода очередного отрицательного импульса на вход.

Каждый входной импульс формирует на выходе одновибратора отрицательный импульс прямоугольной формы. Длительность этого импульса определяется сопротивлением резистора R и емкостью конденсатора C: чем больше значения R и C, тем больше длительность выходного импульса.

Диод VD используется для уменьшения времени разрядки конденсатора С и улучшения тем самым формы выходных импульсов[2]. Аналогичную роль выполняют и диоды VD1 и VD2 в мультивибраторе, показанном на рис.11

## **1.7. Генераторы импульсов напряжения прямоугольной формы.**

### **Превращение усилителя в генератор**

Как составляется схема автогенератора?

Прежде всего следует решить вопрос, как осуществить ПОС? Один каскад усиления, как известно, может изменить фазу входного сигнала на  $180^\circ$ . Подав часть этого сигнала на вход, получают ООС. Значит, для получения ПОС надо выходное напряжение усилителя сдвинуть по фазе еще на  $180^\circ$ . Эту задачу можно легко решить, если последовательно с первым включить второй каскад (рис.2,а), который усилит выходное напряжение первого каскада и сдвинет его еще на  $180^\circ$ [7]. Таким образом, напряжение на выходе второго каскада будет сдвинуто

относительно напряжения на входе первого каскада на  $360^\circ$  (или, что тоже самое, на  $0^\circ$ ), т. е. эти напряжения станут одинаковыми по фазе. Для получения ПОС нужно выход второго каскада через разделительный конденсатор  $C_2$  соединить со входом первого каскада. Этим обеспечивается выполнение первого условия автогенератора: баланса фаз. Для выполнения второго условия — баланса амплитуд — требуется, чтобы общий коэффициент усиления усилителя был больше 1. Это достигается соответствующим подбором сопротивлений резисторов  $R_{K1}$  и  $R_{K2}$ . Если оба условия соблюдены, автогенератор работает при отсутствии на его входе какого-либо дополнительного источника. Схему его в данном случае удобно представить в таком виде, как показано на рис.2,б. Получается схема автогенератора, называемого мультивибратором (генератором множества колебаний) с коллекторно-базовыми связями, в котором коллектор одного транзистора связан с базой другого через конденсатор.

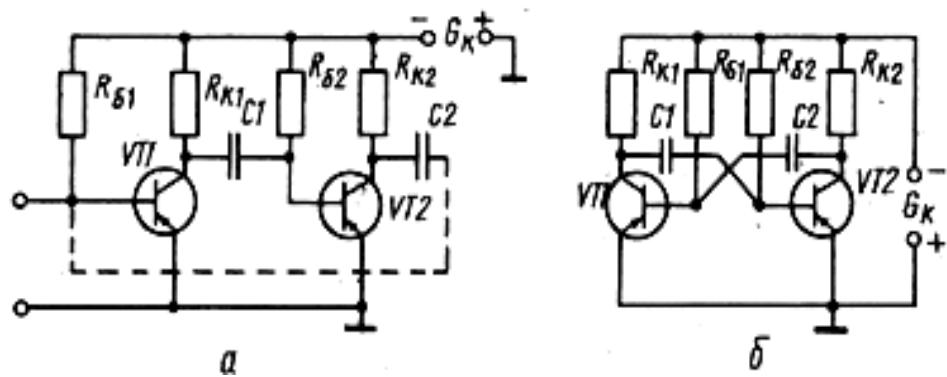


Рис.14. схемы двухкаскадных транзисторных усилителей с ПОС

Обычно сопротивления резисторов  $R_{K1}$  и  $R_{K2}$  в схеме таковы, что коэффициент усиления каждого каскада значительно больше 1, ( $K \gg 1$ ). Так как напряжение с выхода одного каскада прикладывается ко входу другого почти полностью, это должно было бы привести при большом коэффициенте усиления к появлению очень большого напряжения на выходе второго каскада. На самом же деле напряжение на выходе не

может превышать. напряжение источника питания  $E_K$ , величина которого как бы ограничивает амплитуду выходного напряжения.

## 1.8. Принцип работы мультивибратора

Как работает мультивибратор? За счёт чего появляются его возбуждение, исходное напряжение, Которое воздействует на вход двухкаскадного усилителя, усиливается им и в виде напряжения ПОС с выхода снова поступает на вход, но уже с большей амплитудой, вызывает еще большее напряжение на выходе и в результате приводит к образованию незатухающих колебаний?

Для ответа на эти вопросы нужно вспомнить о режимах работы транзистора, зависимости выходного тока от входного.

Если подключить к мультивибратору источник напряжения  $G_K$ , то через транзисторы, потекут токи эмиттера, коллектора и базы (необходимо помнить, что ток направлен от положительного полюса источника к отрицательному). Токами баз заряжаются конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$  (рис.2,а).

Но как бы тщательно ни, подбирались транзисторы, резисторы и конденсаторы, идентичности усилителей, или полной симметрии плеч мультивибратора, достичь не удается. Поэтому коллекторный ток, протекающий через один из транзисторов, в какой-то момент времени будет больше, а через другой меньше. Предположим, что большим оказался коллекторный ток  $I_{K1}$  первого транзистора. Вследствие этого падение напряжения на резисторе  $R_{K1}$  станет больше, чем на резисторе  $R_{K2}$ , а так как  $U_{K\Theta}=G_K+I_KR_K$ , то положительное напряжение коллектора первого транзистора окажется больше, чем напряжение коллектора второго транзистора.

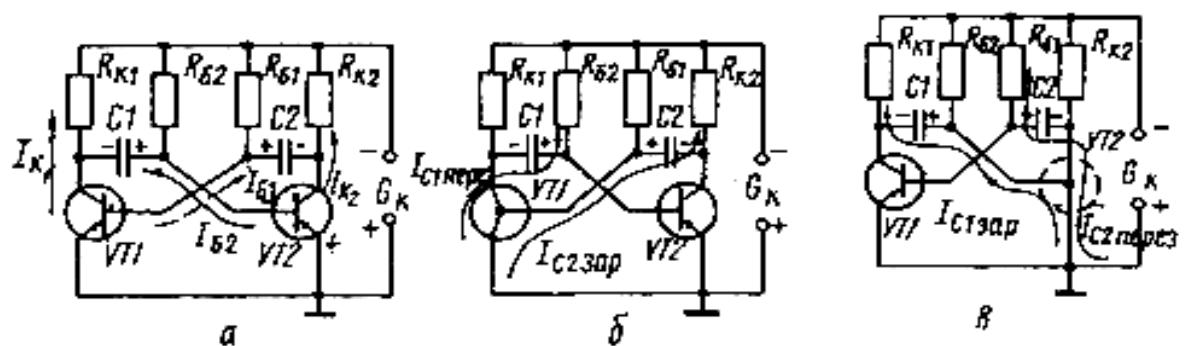


Рис.15. Схемы протекания токов зарядки и разрядки конденсаторов в транзисторном мультивибраторе

Так как сопротивления конденсаторов  $C_1$  и  $C_2$  для изменяющихся токов очень малы, можно считать, что напряжения коллекторов через эти конденсаторы поступают на базы противоположных транзисторов, и напряжение базы транзистора VT2 сделается более положительным, чем напряжение базы транзистора VT1. В связи с этим уменьшится коллекторный ток  $I_{K2}$  второго транзистора. Напряжение его коллектора станет еще более отрицательным и, передаваясь через конденсатор  $C_2$  на базу первого транзистора, вызовет увеличение коллекторного тока  $I_{K1}$ . При этом увеличится напряжение коллектора первого транзистора, которое через конденсатор  $C_1$  передается на базу второго транзистора, и произойдет дальнейшее уменьшение коллекторного тока  $I_{K2}$ .

Процесс увеличения коллекторного тока  $I_{K1}$  первого транзистора и уменьшения коллекторного тока второго транзистора в мультивибраторе носит лавинообразный характер. В результате такого явления коллекторный ток  $I_{K2}$  снижается до нуля (транзистор VT2 переходит в режим отсечки), а коллекторный ток  $I_{K1}$  возрастает до максимального значения. Сопротивления резисторов  $R_{K1}$  и  $R_{K2}$  выбираются такими, чтобы открытый транзистор находился в режиме насыщения. В этом случае сопротивления его переходов и их напряжения близки к нулю, и такой транзистор можно заменить просто точкой, из которой исходят все три электрода: эмиттер, коллектор и база (рис.2,б). Напряжение на конденсаторе  $C_1$  теперь будет

подключено через открытый транзистор VT1 между базой и эмиттером транзистора VT2. Так как, это напряжение «плюсом» подключено к базе, а «минусом» — к эмиттеру, транзистор VT2 находится в закрытом состоянии, т. е. в режиме отсечки.

В таком состоянии схемы продолжается зарядка конденсатора C2 током  $I_{C2\text{зар.}}$ . Зарядный ток протекает от «плюса» источника  $G_K$  через эмиттерный переход открытого транзистора VT1 и резистор  $R_{K2}$ . Эту цепь зарядки конденсатора C2 удобно представить в виде следующей записи:

$$+G_K \rightarrow VT1 \rightarrow C2 \rightarrow R_{K2} \rightarrow -G_K.$$

Как только транзистор VT2 закроется, а VT1 откроется, ток базы VT2, которым до этого заряжался конденсатор C1, исчезнет, и конденсатор C1 начнет перезаряжаться. По цепи потечет перезарядный ток  $I_{C1\text{перез.}}$  конденсатора C1:  $+G_K \rightarrow VT1 \rightarrow C1 \rightarrow R_{62} \rightarrow -G_K$ . По мере перезарядки конденсатора C1 напряжение его левой обкладки будет повышаться, а правой — понижаться, т. е. положительное напряжение, действующее между базой и эмиттером закрытого транзистора, при перезарядке конденсатора C1 будет уменьшаться. Как только это напряжение снизится до нуля, появится небольшой ток базы транзистора VT2 и, значит, коллекторный ток  $I_{K2}$  этого транзистора. Положительное напряжение коллектора транзистора VT2 при этом увеличится (так как отрицательное напряжение источника питания  $G_K$  частично скомпенсировано положительным напряжением на резисторе  $R_{K2}$ , равным величине  $I_{K2}R_{K2}$ ), т. е. на коллекторе транзистора возникнет положительный скачок напряжения, который через конденсатор C2 поступит на базу транзистора VT1 и вызовет уменьшение коллекторного тока  $I_{K1}$  транзистора VT1. Напряжение коллектора VT1 станет более отрицательным, т. е. на коллекторе транзистора VT1 возникнет отрицательный скачок напряжения,

который через конденсатор С1 поступит на базу транзистора VT2, что вызовет еще большее увеличение коллекторного тока  $I_{K2}$  транзистора VT2 и повышение коллекторного напряжения которое передается на базу транзистора VT1. В результате в схеме разовьется лавинообразный процесс, приводящий к полному закрыванию транзистора VT1, открыванию транзистора VT2 и переходу его в режим насыщения (рис.3в). Конденсатор С2 оказывается подключенным между базой и эмиттером транзистора VT1, который напряжением  $UC2$  будет поддерживаться в закрытом состоянии.

В этом состоянии начнется зарядка конденсатора С1 током  $I_{C1зар}$  по цепи:  $+G_K \rightarrow VT2 \rightarrow C1 \rightarrow R_{K1} \rightarrow -G_K$  и перезарядка конденсатора С2 по цепи:  $+G_K \rightarrow VT2 \rightarrow C2 \rightarrow R_{б1} \rightarrow -G_K$ . Как только напряжение на конденсаторе С2 уменьшится до нуля, возникнет новый лавинообразный процесс, который приведет к открыванию транзистора VT1 и закрыванию транзистора VT2.

Периодический переход транзисторов из открытого состояния в закрытое и наоборот продолжается до тех пор, пока подключен источник питания  $G_K$ . Причем транзисторы находятся в том или ином состоянии (рис.2,б или рис. 2,в) в течение времени, которое требуется для того, чтобы напряжение на базе закрытого транзистора вследствие перезарядки одного из конденсаторов (С1 или С2) уменьшилось от максимального значения, равного  $G_K$ , до нуля.

Когда транзистор закрыт, напряжение его коллектора равно  $-G_K$ , а в открытом и насыщенном состоянии транзистора оно близко к нулю. Следовательно, при работе, мультивибратора на его коллекторах формируются прямоугольные импульсы[7].

Время перезарядки конденсаторов С1 и С2 определяется перезарядным током, величина которого, как известно, зависит от сопротивления цепи, в которой он протекает. Значит, чем больше

емкости этих конденсаторов и сопротивления резисторов  $R_{61}$  и  $R_{62}$ , тем больше времени требуется для перехода транзисторов в противоположные состояния. Таким образом, изменяя значения элементов  $C1$ ,  $C2$ ,  $R_{61}$  и  $R_{62}$  можно изменять и длительность импульсов, генерируемых мультивибратором. Если  $C1=C2$  и  $R_{61}=R_{62}$ , конденсаторы  $C1$  и  $C2$  перезаряжаются за равные промежутки времени и длительность положительных и отрицательных импульсов оказывается одинаковой (рис.3). Такой мультивибратор называют симметричным.

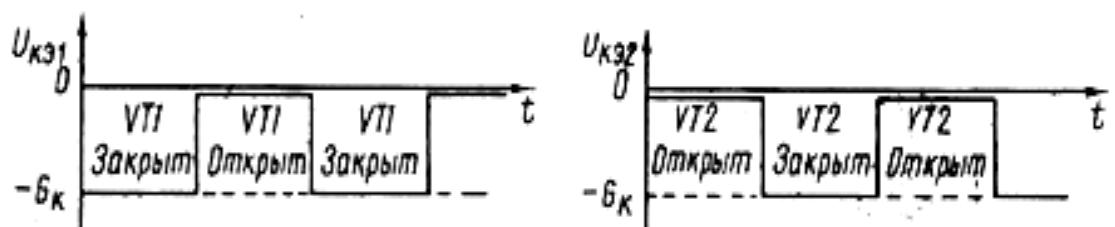


Рис.16. Графики изменения коллекторных напряжений в транзисторном мультивибраторе

### Выводы по главе 1

В первой главе описываются все основные виды и характеристики высокочастотных генераторов. Рассмотрены основные элементы, изучены схемы для их построения. Изучены основные условия получения электрических колебаний.

Способность элементов или отдельных устройств по-разному воздействовать на переменные напряжения различных частот называют их избирательным свойством. Приведено описание LC-цепочек, обладающие таким свойством.

Анализированы графики изменения коллекторных напряжений в различных видах мультивибратора.

## Глава II. Создание генератора на основе мультивибратора

### 2.1. Основные параметры и работа мультивибратора

В мультивибраторе два взаимосвязанных транзистора поочередно открывают друг друга, генерируют переменное напряжение прямоугольной формы[8].

Есть бесконтурные генераторы работающие на совершенно ином принципе. Это прежде всего мультивибратор, в котором работают два транзистора, причем каждый из них управляет работой другого - коллектор каждого транзистора через конденсатор связан с базой своего соседа[8].

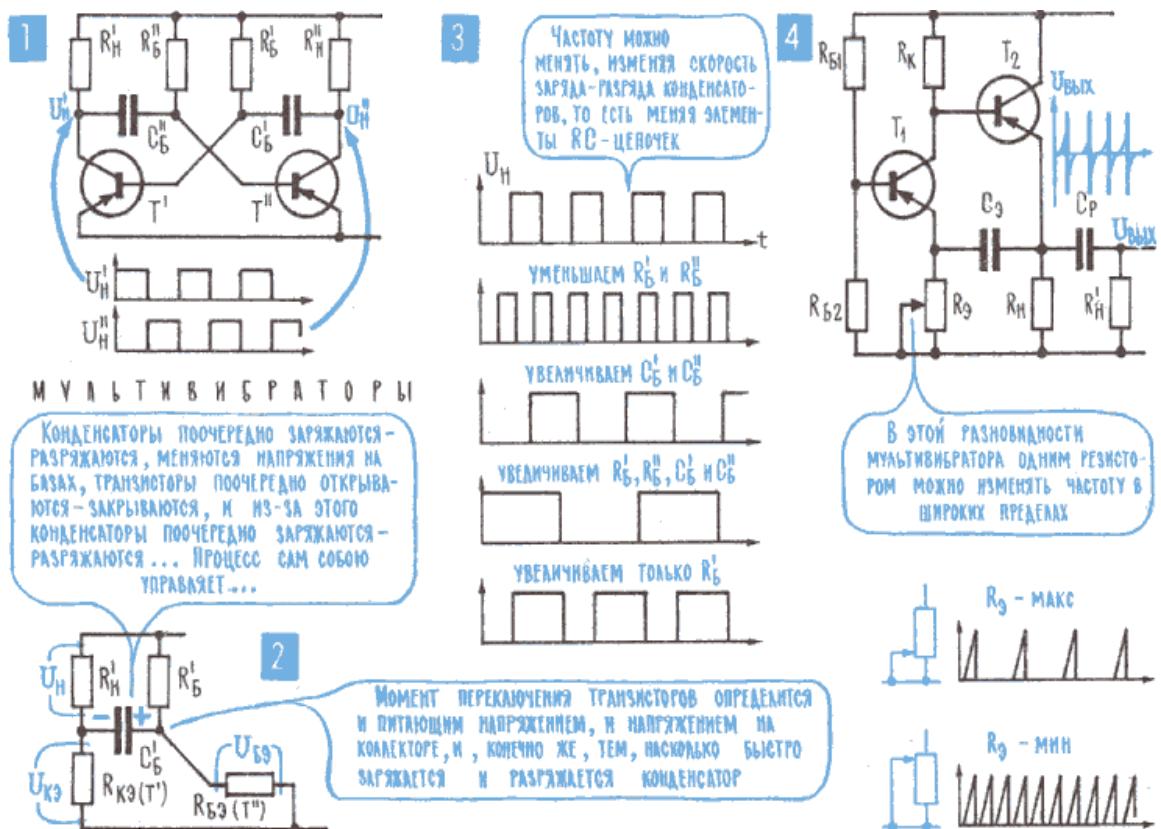


Рис. 17. Схемы мультивибраторов и графики частоты.

В бурных событиях, которые происходят в мультивибраторе, немало действующих лиц. Это напряжения на базах, которые в итоге определяют коллекторные токи, а значит, и напряжение на коллекторах. Это конденсаторы  $C_B'$  и  $C_B''$ , от емкости которых зависит скорость их заряда и разряда, а значит, и время существования токов, которые влияют на режимы транзисторов. Это

еще и резисторы  $R_b'$  и  $R_b''$  которые не только определяют режимы транзисторов своими обычными методами, но еще и участвуют в заряде и разряде конденсаторов и тоже влияют на скорость этих процессов.

Время заряда (разряда) конденсатора зависит от его емкости и от сопротивления зарядной (разрядной) цепи.

В момент, когда мы подключаем конденсатор к электрическому генератору, в цепи появляется некоторый зарядный ток—это свободные электроны идут к одной обкладке конденсатора и уходят с другой, происходит накапливание зарядов на обкладках (Р-29: 7). Зарядный ток будет протекать до тех пор, пока конденсатор не примет все, что он может принять, пока не запасет столько зарядов, сколько позволяет ему емкость[2]. Чем больше емкость, чем больше зарядов должен накопить конденсатор, тем дольше будет продолжаться процесс заряда, тем дольше будет существовать в цепи зарядный ток. Но как только заряд конденсатора закончится, этот ток прекратится. Если последовательно с конденсатором в зарядную цепь включить резистор, то он ограничит ток в цепи и процесс заряда конденсатора будет длиться дольше. Если соединить обкладки заряженного конденсатора резистором, то начнется процесс разряда, по внешней цепи избыточные заряды будут переходить с одной обкладки на другую, стремясь нейтрализовать друг друга. Во время разряда в цепи тоже течет ток и его величина также зависит от емкости и также ограничивается сопротивлением резистора. Разряд конденсатора, подобно заряду, будет длиться тем дольше, чем больше емкость конденсатора (то есть чем больше зарядов должно уйти с обкладок) и чем больше общее сопротивление разрядной цепи.

Быстрее всего разряд произойдет, если соединить обкладки накоротко. Наблюдая за зарядом и разрядом конденсатора, мы впервые сталкиваемся с тем, что элементы электрической цепи определяют продолжительность тех или иных процессов, в данном случае время заряда и разряда. Электрическая цепь, состоящая из  $C$  и  $R$ , или, как ее часто называют, RC-цепочка, в данном случае

чем-то напоминает песочные часы, время «разряда» которых зависит от количества песка и диаметра отверстия, по которому он течет. Не случайно произведение ЯС называют постоянной времени.

Если детально разобраться в том, что происходит в мультивибраторе, в какие моменты времени, какие напряжения приложены к конденсаторам, какой величины и какого направления текут токи, как конкретно эти токи влияют на режимы транзисторов, то окажется, что транзисторы T1 и T2 внимательно следят друг за другом, каждый из них мгновенно реагирует на действия соседа. Именно мгновенно: такой быстроте реакции позавидовал бы любой боксер.

Как только один из транзисторов открывается, второй тут же закрывается - это результат сложного взаимодействия токов и напряжений в схеме. Проходит некоторое время (оно-то как раз и определяется скоростью заряда и разряда конденсаторов), закрытый транзистор мгновенно открывается, и тут же ответный удар - закрывается второй транзистор. В итоге транзисторы периодически и поочередно открываются и закрываются, а значит, токи у них и напряжение на коллекторах периодически меняются от своей наибольшей величины до наименьшей. На выходах мультивибратора (у него два выхода, поскольку два транзистора) появляются меняющиеся напряжения и токи, электронный генератор действует.

На частоту колебаний в мультивибраторе влияют сопротивления и емкости всех его элементов.

Частота переменных напряжений на выходах мультивибратора зависит от емкости конденсаторов и сопротивления резисторов, которые входят в его схему, и еще от смещения на базах, которое приходится преодолевать, чтобы запирать транзисторы. Практически изменение любого элемента схемы приводит к изменению частоты - с увеличением емкости Сб' и Сб" и сопротивлений Rб" Rб' Rн" и Rн' процессы заряда и разряда конденсаторов, отпирания и запирания транзисторов идут медленнее, частота мультивибратора уменьшается. Но, конечно же, существуют определенные ограничения на

выбор элементов схемы, их нельзя менять как угодно, добиваясь нужной частоты. Так, например, чрезмерное уменьшение сопротивлений нагрузки  $R_{h''}$  и  $R_h'''$  может настолько снизить усиление каскадов, что мультивибратор вообще перестанет работать. Срыв генерации может также произойти из-за чрезмерного уменьшения базовых резисторов  $R_B'$  и  $R_B''$ : «минус» на базе может оказаться таким большим, что разряжающийся конденсатор не сможет его скомпенсировать, не сможет запереть транзистор. Подбором резисторов частоту мультивибратора удается менять в сравнительно небольших пределах, чтобы резко изменить частоту, приходится менять емкость конденсаторов. В частности, для получения очень низких частот в качестве  $C_B''$  и  $C_B'''$  используют электролитические конденсаторы большой емкости.

## 2.2. Транзисторные генераторы

1. Мультивибратор. Наиболее распространенная схема этого класса генераторов (Т-176, Р-99), в данном случае его частоту можно плавно менять в небольших пределах с помощью  $R_3$ . Примерные данные схемы для некоторых частот — в С-17.

2. RC-генератор (Т-175, Р-98). При приведенных на схеме данных деталей частота колебаний около 5 Гц. Данные  $R_1 = R_2 = R_3$  и  $C_1 = C_2 = C_3$  для других частот — в таблице С-17.

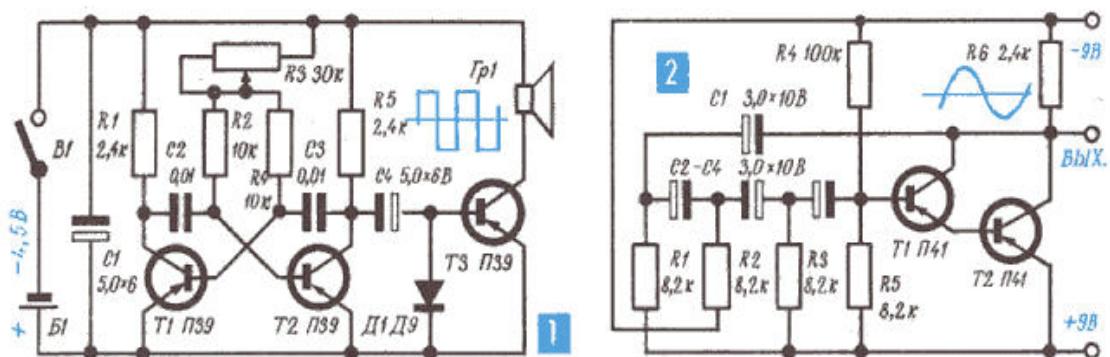


Рис. 18. Схема мультивибратора и RC-генератора

3,4. Две схемы простых генераторов. В них частота сигнала определяется RC-цепями; в первой схеме (3) это весьма низкая частота: несколько Гц или доли Гц. Во второй схеме частота лежит в пределах звукового диапазона.

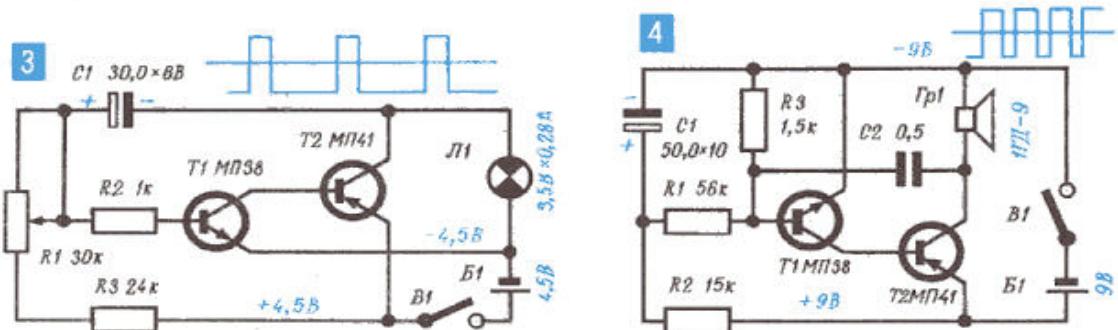


Рис. 19. Схема двух простых генераторов с RC-цепями

5. Блокинг-генератор. Частоту его сигнала можно менять, изменяя R1 или C1. На основе этого генератора можно сделать простейший электромузикальный инструмент или индикатор сопротивления. Так, например, если с помощью двух электродов включить вместо R1 некоторый объем воды, то звуковой тон будет меняться в зависимости от уровня воды или, например, ее солености. В качестве Тр1 можно взять БТК (блокинг-трансформатор кадровый) от любого телевизора. Выходное сопротивление такого генератора велико, его нужно подключать к каскаду с большим входным сопротивлением.

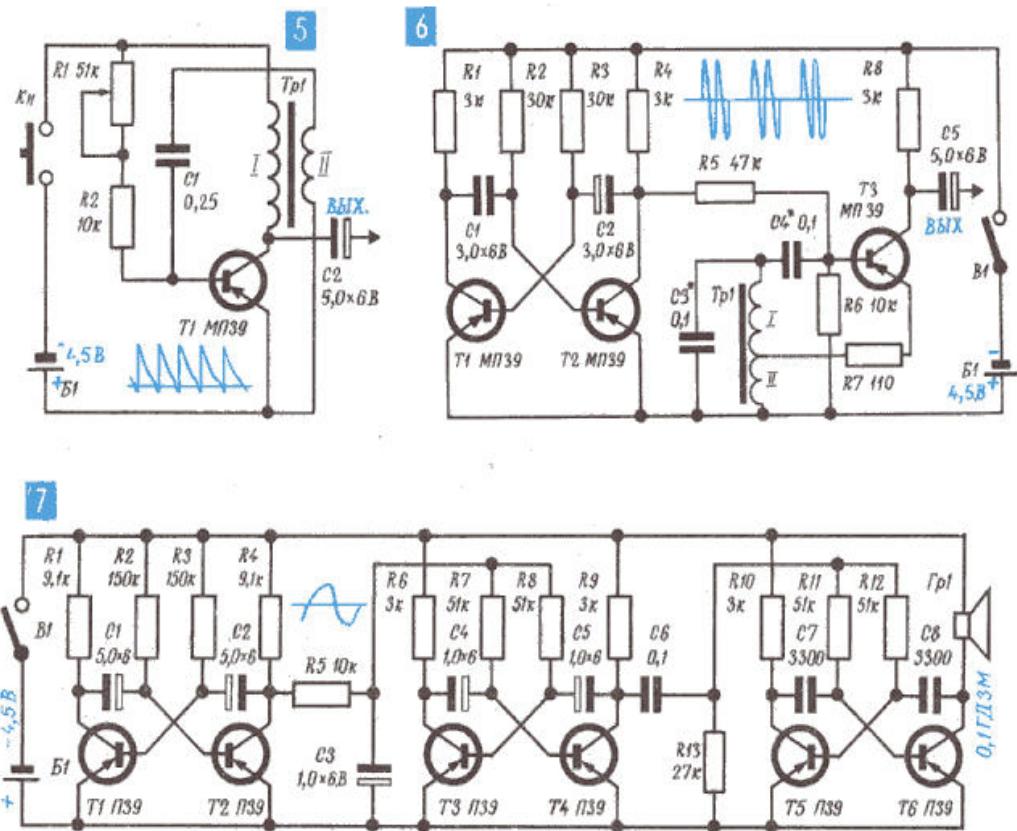


Рис. 20. Схема блокинг генератора, генератора прерывистых колебаний и звуковой игрушки соловей

6. Генератор прерывистых колебаний. Состоит фактически из двух генераторов, один из которых управляет работой другого. Первый генератор (Т3) собран по трехточечной схеме с индуктивной обратной связью, его частота 200—500 Гц. В качестве Тр1 можно включить обмотку (500—1000 витков с отводом от середины) любого низкочастотного трансформатора, скажем от карманного приемника. Второй генератор (Т1, Т2) — стандартный мультивибратор, он управляет работой Т3, и таким образом схема дает импульсы звукового сигнала (Бип-бип-бип...).

7. Звуковая игрушка «Соловей». Три связанных мультивибратора, работающих на разных частотах. Два мультивибратора (Т1, Т2 и Т3, Т4) работают на частотах 0,3—2 Гц и управляют звуковым мультивибратором (Т5, Т6). Случайные фазовые совпадения сигналов создают звук, сложным образом модулированный и имитирующий пение соловья.

Некоторые варианты выбора деталей для мультивибратора на маломощных транзисторах, аналогичных П41, и соответствующие этим деталям частоты приведены в С-17. На Р-99; 4 показана одна из схем мультивибратора, которая устойчиво работает при сравнительно больших изменениях одного из сопротивлений: изменения  $R_5$  можно менять частоту в четыре - восемь раз, что в других схемах можно сделать только за счет изменения ёмкости.

## **Выводы по главе 2**

Во второй главе приведены основные параметры мультивибратора, условия работы мультивибратора. Рассмотрены структурные схемы мультивибраторов и графики частоты. Предложена схема мультивибратора, которая обеспечивает устойчивую работу мультивибратора при сравнительно небольших изменениях одного из сопротивлений, и тем самым можно менять частоту в четыре - восемь раз, что в других схемах можно сделать только за счет изменения емкости.

Обосновано, что выбор мультивибратора, как основного генератора является оптимальным, так как создание прототипа медицинского аппарата для коагуляции, требует меньше всего затрат на элементную базу и более прост в схематическом отношении.

## **Глава III. Разработка аппарата для коагуляции на основе высокочастотного генератора**

Известно, что в современной хирургии широко применяется техника высокочастотного резания мягких тканей, а также высокочастотная коагуляция разрезаемых тканей и сосудов[3]. Применение высокочастотных скальпелей и коагуляторов обусловлено высокой скоростью резания при проведении операций, малыми кровопотерями, а также более быстрым восстановлением тканей в области разреза. Высокая частота электрических колебаний позволяет сконцентрировать основную энергию в малой области воздействия, что значительно снижает болевые и другие побочные эффекты при проведении операций. Выделение большого количества тепла в небольшой зоне разрезаемых либо коагулируемых тканей приводит к одновременной стерилизации зоны пореза, благотворно влияя на послеоперационное заживление. Регулировка выходной мощности в широких пределах позволяет проводить операции, как на небольших участках оперируемого объекта, так и на значительных площадях. Необходимое для электрохирургии интенсивное образование тепла в области воздействия обеспечивается применением активного электрода с поверхностью во много раз меньшей, чем поверхность второго (пассивного) электрода – это так называемая монополярная методика. Соответственно возрастает плотность тока в месте прикосновения активного электрода к тканям тела, что и обуславливает необходимый эффект действия тока.

Имеются два основных вида электрохирургии: сваривание ткани – электрокоагуляция и рассечение ткани – электротомия.

При электрокоагуляции активный электрод в форме шара или плоской поверхности плотно прижимается к ткани, после чего на

несколько секунд включается высокочастотный ток. Ткань под электродом нагревается до температуры 60 – 80 градусов, при которой происходит необратимое свертывание тканевых белков. Внешне это проявляется в побелении ткани около краев электрода. Глубина действия электроагуляции обычно не превышает размеров примененного электрода, что объясняется резким уменьшением плотности тока с увеличением расстояния до электрода. Для усиления коагулирующего эффекта обычно используют модулированные, а не непрерывные высокочастотные колебания, что позволяет не перегревать ткани. Важной областью применения электроагуляции является остановка кровотечений при операциях, да и в ходе операции с использованием электроскальпеля кровопотери оказываются минимальными.

Электроагуляция используется в самых различных областях медицины – начиная с удаления папиллом, бородавок, грануляций, омертвления нерва зуба в стоматологии, в косметологии и кончая внутриполостными операциями.

Распространена и биполярная методика электроагуляции, при которой оба выхода генератора соединены с двумя активными электродами, конструктивно объединенными в один биполярный электрод (пинцет). Биполярная методика особенно удобна при коагуляции выступающих над поверхностью тела участков тканей, а также при остановке кровотечений сосудов. С помощью биполярного пинцета захватывается конец кровоточащего сосуда. Для биполярной методики характерна локальность распространения высокочастотного тока, что выгодно отличает ее от монополярной.

При электротомии активный электрод имеет форму тонкого лезвия, которым прикасаются к телу и после включения высокочастотного тока проводят без давления по поверхности рассекаемой ткани. Вследствие

интенсивного нагрева ткани под электродом ее клеточная и межклеточная жидкости мгновенно (с взрывом) испаряются и разрывают ткань. Величина тока и скорость движения активного электрода определяют глубину разреза и степень коагуляции тканей.

При более быстром движении электрода по краям раны остается только тончайший слой коагулированной ткани и разрез почти не отличается от разреза скальпелем. При медленных перемещениях активного электрода образуется струп. Еще более выраженный коагулирующий эффект можно получить используя модулированный высокочастотный электрический ток.

Электротомия имеет ряд преимуществ по сравнению с обычным хирургическим разрезом с помощью скальпеля. Прежде всего, при электротомии получается почти бескровный разрез, так как малые сосуды свариваются и закупориваются в процессе резания. Для коагуляции крупных сосудов используется кровоостанавливающий зажим, к которому прикасаются активным электродом.

Коагуляция краев раны вместе с сосудами, помимо устранения потерь крови и облегчения работы хирурга, исключает также проникновение инфекции в кровяное русло и лимфатические пути. Частицы ткани, попадающие на активный электрод, разрушаются, что сохраняет стерильность электрода и исключает возможность переноса злокачественных клеток на здоровый участок ткани.

При электрохирургическом разрезе оказываются коагулированными также окончания нервных волокон в полости раны, в связи с чем, значительно уменьшаются боли в послеоперационный период.

Таким образом, преимущества электрохирургических скальпелей перед обычными скальпелями очевидны. Основным препятствием широкого распространения электрохирургических аппаратов в

Республике является их высокая стоимость, особенно аппаратов с высокой выходной мощностью (более 200 Ватт), а также то, что производство мощных электрохирургических аппаратов не налажено. Поэтому в рамках проекта ставилась актуальная для хирургической практики Республики задача – разработать и создать электрохирургический скальпель большой мощности (более 250 Ватт), решение которой ускорит в дальнейшем наладить их производство для удовлетворения потребностей стационаров и клиник приборах такого рода. Стоимость такого прибора должна быть в несколько раз меньше зарубежных аналогов, он должен быть импортозамещающим. Важным компонентом данного проекта будет также налаживание гарантийного и послегарантийного обслуживания выпущенных приборов, что также является большим плюсом, так как ремонт зарубежной техники или сильно затруднен или требует значительных затрат.

### **3.1 Расчёт выпрямителя переменного тока**

Предложенный аппарат в данной работе разрабатывается на основе не сложного мультивибратора, который служит высокочастотным генератором.

Действующее значение напряжения каждой полуобмотки  $W_2$  трансформатора[5]:

$$U_2^1 = U_2^{11} = 1.11 \cdot U_d = 1.11 \cdot 12 = 13.32 \text{ В}$$

Действующее значение тока, протекающего по обмотке  $W_2$  трансформатора:

$$I_2^1 = I_2^{11} = 0.7 \cdot I_d = 0.7 \cdot 0.5 = 0.3535 \text{ А}$$

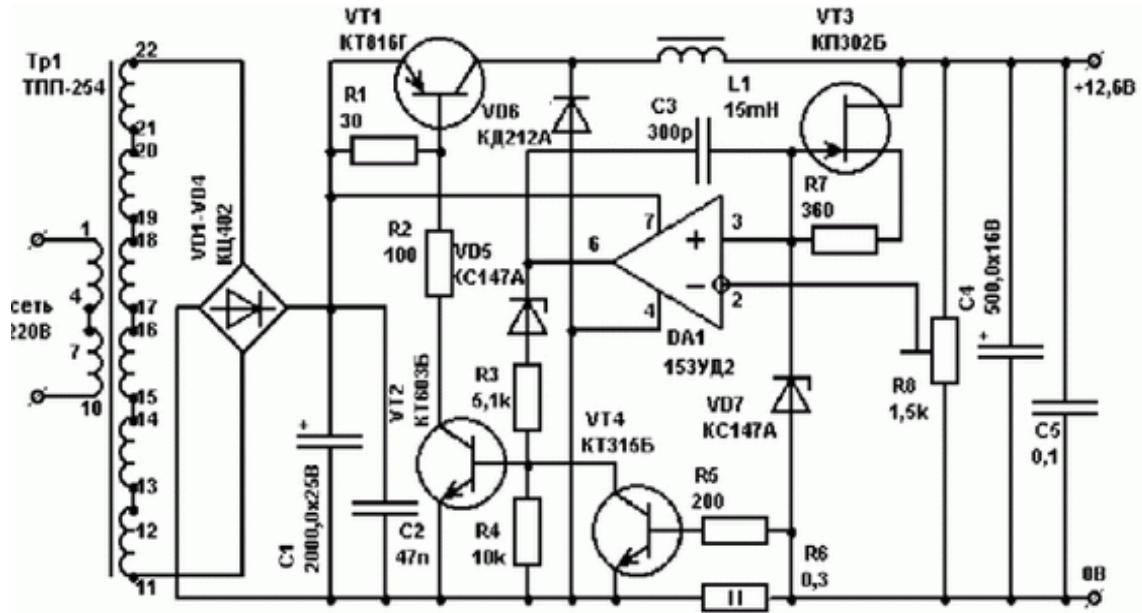


Рис.21. Электрическая схема блока питания

Амплитудное значение напряжения на вентиле, находящемся в непроводящем состоянии:

$$U_{am} = 3.14 \cdot U_d = 3.14 \cdot 12 = 37.68 \text{ B}$$

Среднее значение тока вентиля:

$$I_a = 0.5 \cdot I_d = 0.5 \cdot 0.5 = 0.25 \text{ A}$$

Амплитудное значение тока проводящего вентиляя:

$$I_{am} = 1 \cdot I_d = 1 \cdot 0.5 = 0.5 \text{ A}$$

### 3.2 Расчёт силового трансформатора

Согласно, исходным требованиям и расчётов выпрямителя расчёт трансформатора производится по следующим данным[7]:

$$U_2 = 13.32 \text{ B}; I_2 = 0.5 \text{ A}; U_3 = 22.8 \text{ B}; I_3 = 0.5 \text{ A}; U_4 = 220 \text{ B};$$

$$I_4 = 0.45 \text{ A}; U_5 = 10 \text{ B}; I_5 = 1 \text{ A}.$$

Напряжение сети:  $U_1 = 220$  В;  $f_c = 50$  Гц.

Определяем габаритную мощность вторичных обмоток  $S_{\Gamma_2}$  и суммарную габаритную мощность  $S_{\Gamma}$  трансформатора с учётом выбранной схемы выпрямителя и использования остальных обмоток:

$$S_{\Gamma 2} = 1.7 \cdot U_2 I_2 \cdot U_3 I_3 \cdot U_4 I_4 \cdot U_5 I_5 = 1.7 \cdot 13.32 \cdot 0.5 \cdot 22.8 \cdot 0.5 \cdot 220 \cdot 0.45 \cdot 10 \cdot 1 = 131.722 \text{ В}\cdot\text{А}$$

Суммарная габаритная мощность трансформатора с учётом его КПД ( $\eta=0.88$ ):

$$S_{\Gamma 2} 131.722 \text{ В}\cdot\text{А} / \eta = 149.684 \text{ В}\cdot\text{А}$$

По монограмме мощности  $S_{\Gamma} = 149.684 \text{ В}\cdot\text{А}$  соответствует сердечник с площадью поперечного сечения  $Q_c = 15.5 \text{ см}^2$

Так как трансформатор малой мощности, то выберем обмоточный провод марки ПЭВ – провод с изоляцией лаком винифлекс.

Пользуясь монограммой, для сечения проводника  $Q_c = 15.5 \text{ см}^2$  и наклонной линией, построенной для использования обмоточного провода ПЭВ, определяем необходимую площадь окна магнитопровода, которая составит  $Q_o = 12 \text{ см}^2$

В результате расчётов принимаем стандартный магнитопровод III – 32 с параметрами

$$Q_c = 19.0 \text{ см}^2; Q_o = 25.6 \text{ см}^2.$$

Для выбора диаметра провода первичной (сетевой) обмотки, определяем ток в этой обмотке:  $S_{\Gamma 2} S_{\Gamma} / 149.684$

$$I_1 = 0.68,$$

$$U_1 \cdot 3 U_1 / 220.$$

Учитывая габаритную мощность трансформатора  $S_{\Gamma} = 149.684 \text{ В}\cdot\text{А}$  и принимая сердечник выполненным из штампованных пластин получаем магнитную индукцию в сердечнике (в стали) трансформатора  $B_c = 1.1 \text{ Тл}$ .

По монограмме для магнитной индукции  $B_c = 1.1 \text{ Тл}$  и сечения сердечника  $Q_c = 25.6 \text{ см}^2$  определяем число витков на 1 В напряжения для всех обмоток (W/1B), равное 2.8 Вит/1В, и определяем число витков в каждой обмотке из соотношения:

$$W \cdot W_i = U_i \cdot - \cdot K \cdot 1B.$$

$U_i$  – напряжение соответствующей обмотки

$K$  – коэффициент, учитывающий падение напряжения на активном сопротивлении вторичных обмоток ( $K = 1.05 \dots 1.1$ ).

С учётом компенсации падения напряжения на активном сопротивлении обмотки число витков вторичных обмоток увеличивают на 5%. Тогда:

$$W_1 = 220 \cdot 2.8 \cdot 1.05 = 647 \text{ Вит};$$

$$W_2 = 13.32 \cdot 2 \cdot 2.8 \cdot 1.05 = 78.3 \text{ Вит};$$

$$W_3 = 22.8 \cdot 2.8 \cdot 1.05 = 67 \text{ Вит};$$

$$W_4 = 220 \cdot 2.8 \cdot 1.05 = 647 \text{ Вит};$$

$$W_5 = 10 \cdot 2.8 \cdot 1.05 = 29.4 \text{ Вит}.$$

Определяем диаметр обмоточных проводов в обмотках трансформатора.

Для мощности трансформатора  $S_g = 149.684 \text{ В}\cdot\text{А}$  рекомендуемая плотность тока составляет  $d = 2 \text{ А}/\text{мм}^2$ .

Тогда по таблице определяем:

1) для первичной обмотки: для  $I_1 = 0.68 \text{ А}$   $d_1 = 0.748 \text{ А}/\text{мм}^2$ ;

2) для вторичных обмоток: для  $I_1 = 0.5 \text{ А}$   $d_1 = 0.405 \text{ А}/\text{мм}^2$ ;

для  $I_1 = 0.5 \text{ А}$   $d_1 = 0.405 \text{ А}/\text{мм}^2$ ;

для  $I_1 = 0.45 \text{ А}$   $d_1 = 0.348 \text{ А}/\text{мм}^2$ ;

для  $I_1 = 1 \text{ А}$   $d_1 = 1.57 \text{ А}/\text{мм}^2$ ;

Проверяем возможность размещения обмоток в окне сердечника.

Определяем площадь  $g$ , занимаемую каждой обмоткой в окне сердечника.

Для первичной обмотки:

$W_1 = 647$  витков,  $d_1 = 0.748 \text{ А}/\text{мм}^2$  в  $1 \text{ мм}^2$  уместится  $1.72$  витка  $647$ .

Общая площадь:  $g_1 = - = 3.762 \text{ см}^2$   $1.72 \cdot 100$ .

Для обмотки  $W_2$ :  $W_2 = 78.3$  витков,  $d_1 = 0.405 \text{ A/mm}^2$  в  $1 \text{ mm}^2$  уместится 6.1 витка 78.3.

Общая площадь:  $g_2 = - = 0.128 \text{ cm}^2 6.1 \cdot 100$ .

Для обмотки  $W_3$ :

$W_3 = 67$  витков,  $d_1 = 0.405 \text{ A/mm}^2$  в  $1 \text{ mm}^2$  уместится 6.1 витка 67.

Общая площадь:  $g_3 = - = 0.11 \text{ cm}^2 6.1 \cdot 100$ .

Для обмотки  $W_4$ :

$W_4 = 647$  витков,  $d_1 = 0.348 \text{ A/mm}^2$  в  $1 \text{ mm}^2$  уместится 8 витков 647.

Общая площадь:  $g_4 = - = 0.81 \text{ cm}^2 8 \cdot 100$ .

Таким образом, общая площадь окна, занимаемая всеми обмотками:

$$Q_{\text{оз}} = g_1 + g_2 + g_3 + g_4 + g_5 = 3.762 + 0.128 + 0.11 + 0.81 + 0.06 = 4.87 \text{ cm}^2.$$

Возможность размещения всех обмоток в окне сердечника можно проводить с использованием коэффициента заполнения окна  $K_o$ :

$$Q_{\text{оз}} 4.87 K_o = - = 0.19 Q_o 25.6.$$

Как показали расчёты, все обмотки в окне сердечника размещаются. Остальная оставшаяся площадь  $Q_{\text{ост}} = Q_o - Q_{\text{оз}} = 25.6 - 4.87 = 20.73 \text{ cm}^2$  используется для размещения каркаса и изоляционных прокладок между обмотками.

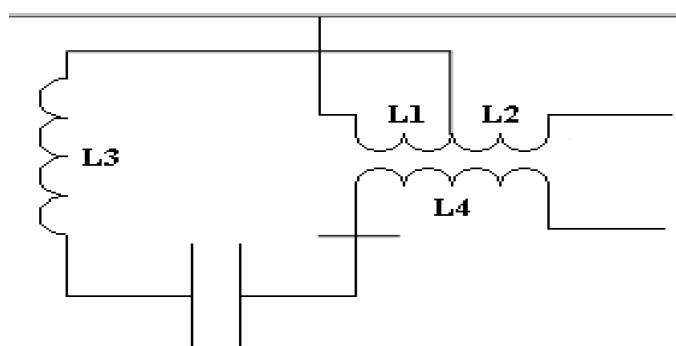


Рис.22. Схема обмоток трансформатора

По полученным данным в качестве вентилей для цепи 1 выбираем два диода Д226Е с параметрами  $U_{\text{ам}} = 100 \text{ В}$ ;  $I_a = 300 \text{ мА}$ ;  $I_{\text{ам}} = 2.5 \text{ А}$ .

Сделаем проверку выбранных вентиляй на соответствие параметрам выпрямителя:

$$U_{am} = 100 \text{ В} > 37.68 \text{ В}; I_a = 300 \text{ мА} > 250 \text{ мА}; I_{am} = 2.5 \text{ А} > 0.5 \text{ А.}$$

Вентили соответствуют параметрам выпрямителя.

Для выбора схемы и количества звеньев сглаживающего фильтра определяем его коэффициент сглаживания:

$$q_1 0.667 \text{ S} = - = - = 133.4 > 100, \text{ следовательно нужен многозвездный}$$

$q_2 0.005$  фильтр.

$$\mathcal{E}\text{ДС обмотки трансформатора } E_3 = B \cdot U_d = B \cdot U_h = 0.95 \cdot 24 = 22.8 \text{ В.}$$

Максимальное обратное напряжение на вентиляе, находящемся в непроводящем состоянии:

$$U_{obpm} = 2\sqrt{2} \cdot E_3 = 2\sqrt{2} \cdot 22.8 = 64.488 \text{ В.}$$

Среднее значение тока вентиляя:

$$I_d I_h 0.5 I_a = - = - = - = 0.25 \text{ А} 2 2 2.$$

Максимальный (амплитудный) ток вентиляя:

$$I_{am} = F \cdot I_a = 7.2 \cdot 0.25 = 1.8 \text{ А}$$

Действующее значение тока вторичной трансформатора:

$$I_3 = D \cdot I_a = 2.35 \cdot 0.25 = 0.588 \text{ А} 1.3.20.$$

По полученным данным в качестве вентиляе выбираем диоды Д226Е с параметрами:

$$U_{am} = 100 \text{ В} > 64.488 \text{ В}; I_a = 300 \text{ мА} > 250 \text{ мА}; I_{перегр} = 2.5 \text{ А} > 1.8 \text{ А.}$$

Вентили соответствуют параметрам выпрямителя.

Ёмкость конденсатора фильтра находим из выражения:

$$H 260 \text{ С} = - = - = 72.22 \text{ мкФ} Q_2 \cdot r_{\pi} 0.75 \cdot 4.8.$$

Принимаем стандартный оксидный (электролитический) конденсатор К50 – 3 Сном = 100 мкФ; Уном = 100 В.

### 3.3 Электрическая схема аппарата

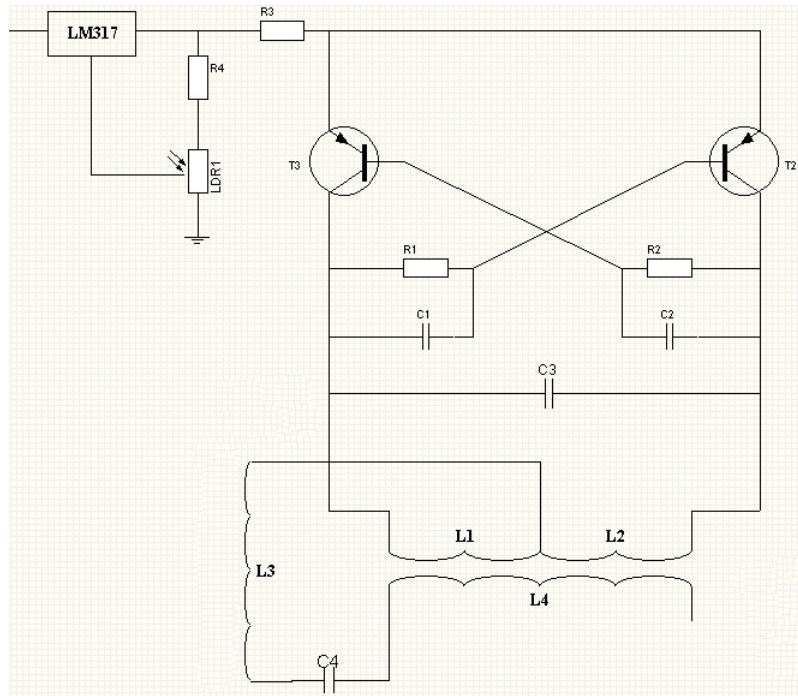


Рис.23. Электрическая схема аппарата

Описание принципиальной схемы прибора.

Основу прибора составляет высокочастотный генератор, собранный на транзисторах VT2 и VT3. Генератор выполнен по двухтактной схеме. Резисторы R7 и R8 служат для установки рабочего режима транзисторов VT2 и VT3. Во время работы, в результате действия обратной связи, транзисторы генератора открываются по очереди. Рассмотрим случай, когда открыт транзистор VT3. Обозначим напряжение на эмиттере этого транзистора как – Е. Средняя точка высокочастотного генератора, образованного индуктивностями L1 и L2, по постоянному току имеет нулевой потенциал. Поэтому, когда открыт транзистор VT3, на правом конце индуктивности L2 имеется потенциал

$$U_2 = E - U_{K\text{-Энас}}.$$

Здесь: Е - напряжение на эмиттере транзистора VT3, UK-Энас. - напряжение насыщения коллектор-эмиттер транзистора VT3. Так как средняя точка индуктивностей имеет нулевой потенциал, на левом конце индуктивности L1, за счет магнитной связи образуется потенциал

$$U_1 = -U_{K\text{-Энас.}}$$

Теперь мы можем определить разность потенциалов в концах резистора

R7. Оно равно  $R_7 = \frac{U_{R_7}}{I_b}$ ,

ток базы  $I_b$  транзистора, из закона Ома мы можем определить сопротивление резистора  $R_7$ .

Из-за симметрии схемы сопротивление резистора  $R_8$  имеет такую же величину.

Конденсаторы  $C_4$  и  $C_5$  служат для обострения фронтов импульса. Постоянная времени заряда и разряда определяется величиной сопротивления резистора и емкости конденсатора.

$$\tau = R_7 C_4 = R_8 C_5$$

Задавая величину постоянной  $\tau$ , по известной величине сопротивления

$$C = \frac{\tau}{R}$$

можно определить емкости конденсаторов по формуле

Конденсатор  $C_6$  совместно с параллельно подключенными индуктивностями  $L_1$  и  $L_2$  образует колебательный контур, собственная частота которого определяется по формуле Томпсона

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} = \frac{1}{\sqrt{(L_1 + L_2) \cdot C_6}}$$

где  $\omega_0$  – собственная частота (частота резонанса) колебательного контура. Здесь явление резонанса в колебательном контуре используется для получения высокого напряжения на выходе стоматологического коагулятора. Для нормальной работы параллельного контура необходимо, чтобы этот контур питался от источника тока. Для этой цели средняя точка подключения индуктивностей  $L_1$  и  $L_2$  подключается реактивное сопротивление индуктивной

катушки L3. Энергия высокочастотных колебаний снимается с помощью катушки связи L4. Кроме того, магнитно связанные катушки индуктивности L1, L2 и L4 образует высокочастотный повышающий трансформатор. Величина индуктивности определяется геометрическими размерами контурных катушек.

Для защиты больного от статического электричества в общей цепи прибора принимается блокирующий конденсатор С<sub>7</sub>. Емкостное сопротивление этого конденсатора на частоте работы генератора составляет небольшую величину, а для частоты сети имеет очень большую величину. Высокочастотное выходное напряжение стоматологического коагулятора снимается с восьмого контакта разъема прибора.

На базе транзистора VT1 собран регулируемый источник питания высокочастотного генератора. С помощью переменного резистора R<sub>3</sub> регулируется напряжение питания генератора. Конденсатор C<sub>3</sub> выполняет функцию сглаживающего фильтра. Резистор R<sub>4</sub> ограничивает величину максимального тока базы транзистора VT1, охраняя его от поломки при перегрузках по току[19].

Питающее напряжение переменного тока величиной 25 вольт через выключатель S подается на контакты 1 и 2 входной колодки разъема прибора. От этого разъема напряжение переменного тока подается на мостовой выпрямитель, выполненный на базе диодной сборки КЦ212А. Выходной пульсирующий ток сглаживается с помощью электролитического конденсатора большой емкости С<sub>1</sub>. Для подачи постоянного напряжения питания на высокочастотный генератор стоматологического коагулятора применяется кнопка КН. Наличие постоянного напряжения индицируется свечением светодиода АЛ325. Резистор R<sub>1</sub> применяется для установки рабочего тока светодиода.

### **3.4 Описание элементной базы аппарата**

Выбор конструкции печатной платы является важным фактором, определяющим механические характеристики при использовании устройства в целом. Для изготовления печатных плат используются материалы различного уровня качества. Наиболее подходящим и удобным для разработчика будет, если изготовитель печатных плат находится неподалеку. В этом случае легко осуществить контроль удельного сопротивления и диэлектрической постоянной - основных параметров материала печатной платы. К сожалению, этого бывает недостаточно и часто необходимо знание других параметров, таких как воспламеняемость, высокотемпературная стабильность и коэффициент гигроскопичности. Эти параметры может знать только производитель материалов, используемых при производстве печатных плат.

Очень простые электронные схемы выполняются на односторонних платах с использованием дешевых фольгированных материалов (FR-1 или FR-2) и часто имеют много перемычек, напоминая двухсторонние платы. Такой способ создания печатных плат рекомендуется только для низкочастотных схем[9]. По причинам, которые будут описаны ниже, односторонние печатные платы в большой степени восприимчивы к наводкам. Хорошую одностороннюю печатную плату достаточно сложно разработать из-за многих причин. Тем не менее, хорошие платы такого типа встречаются, но при их разработке требуется очень многое обдумывать заранее.

Для правильной работы аналоговых схем весьма важен правильный выбор пассивных компонентов[9]. Начинайте дизайнерскую разработку с внимательного рассмотрения высокочастотных характеристик пассивных компонентов и предварительного размещения и компоновки их на эскизе платы.

Большое число разработчиков совершенно игнорируют частотные ограничения пассивных компонентов при использовании в аналоговой схемотехнике[20]. Эти компоненты имеют ограниченные частотные диапазоны, и их работа вне специфицированной частотной области может привести к непредсказуемым результатам. Кто-то может подумать, что это обсуждение касается только высокоскоростных аналоговых схем. Однако, это далеко не так - высокочастотные сигналы достаточно сильно воздействуют на пассивные компоненты низкочастотных схем посредством излучения или прямой связи по проводникам. Например, простой низкочастотный фильтр на операционном усилителе может легко превращаться в высокочастотный фильтр при воздействии на его вход высокой частоты.

Высокочастотные характеристики резисторов могут быть представлены эквивалентной схемой, приведенной на рисунке 5.

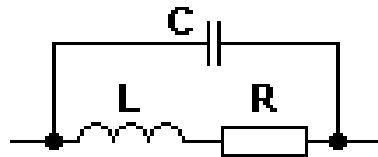


Рис.24. Эквивалентная схема резистора

Обычно применяются резисторы трех типов: 1) проволочные, 2) углеродные композитные и 3) пленочные. Не надо иметь много воображения, чтобы понять, как проволочный резистор может превращаться в индуктивность, поскольку он представляет собой катушку с проводом из высокоомного металла. Большинство разработчиков электронных устройств не имеют понятия о внутренней структуре пленочных резисторов, которые также представляют собой катушку, правда, из металлической пленки. Поэтому пленочные резисторы также обладают индуктивностью, которая, впрочем, несколько меньше, чем у проволочных резисторов. Пленочные резисторы с сопротивлением не более 2 кОм можно свободно

использовать в высокочастотных схемах. Выводы резисторов параллельны друг другу, поэтому между ними существует заметная емкостная связь. Для резисторов с большим сопротивлением межвыводная емкость будет уменьшать полный импеданс на высоких частотах.

### 3.5 Конденсаторы

Высокочастотные характеристики конденсаторов могут быть представлены эквивалентной схемой, приведенной на рисунке 6.

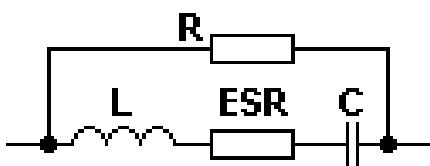


Рис.25. Эквивалентная схема конденсатора

Конденсаторы в аналоговых схемах используются в качестве элементов развязки и фильтрующих компонентов. Для идеального конденсатора реактивное сопротивление определяется по следующей формуле:

$$x_c = \frac{1}{(2\pi f C)},$$

где  $x_c$  – реактивное сопротивление, Ом  $f$  – частота, МГц  $C$  – емкость, мкФ.

Следовательно, электролитический конденсатор емкостью 10 мкФ будет обладать сопротивлением 1,6 Ом на частоте 10 кГц и 160 мкОм на частоте 100 МГц. Так ли это?

В действительности, никто никогда не видел электролитического конденсатора с реактивным сопротивлением 160 мкОм. Обкладки пленочных и электролитических конденсаторов представляют собой свитые слои фольги, которые создают паразитную индуктивность. Эффект собственной индуктивности у керамических конденсаторов

значительно меньше, что позволяет использовать их при работе на высоких частотах. Кроме этого, конденсаторы обладают током утечки между обкладками, который эквивалентен включенному параллельно их выводам резистору, добавляющему свое паразитное воздействие к воздействию последовательно включенного сопротивления выводов и обкладок. К тому же, электролит не является идеальным проводником. Все эти сопротивления, складываясь, создают эквивалентное последовательное сопротивление (ESR). Конденсаторы, используемые в качестве развязок, должны обладать малым ESR, поскольку последовательное сопротивление ограничивает эффективность подавления пульсаций и помех. Повышение рабочей температуры довольно значительно увеличивает эквивалентное последовательное сопротивление и может привести к ухудшению характеристик конденсатора. Поэтому, если предполагается использование алюминиевого электролитического конденсатора при повышенной рабочей температуре, то необходимо использовать конденсаторы соответствующего типа ( $105^{\circ}\text{C}$ ).

Выводы конденсатора также вносят свой вклад в увеличение паразитной индуктивности. Для малых значений емкости важно оставлять длину выводов короткой. Сочетание паразитных индуктивности и емкости может создать резонансный контур. Полагая, что выводы имеют индуктивность порядка 8 нГн на один сантиметр длины, мы можем подсчитать, что конденсатор емкостью 0,01 мкФ с выводами длиной по одному сантиметру будет иметь резонансную частоту около 12,5 МГц. Этот эффект был известен еще инженерам, которые десятилетия назад разрабатывали электронные вакуумные приборы. Тот, кто восстанавливает антикварные радиоприемники и не знает об этом эффекте, сталкивается с множеством проблем.

При использовании электролитических конденсаторов необходимо следить за правильным его подключением. Положительный вывод должен быть подключен к более положительному постоянному потенциалу. Неправильное подключение приводит к протеканию через электролитический конденсатор постоянного тока, что может вывести из строя не только сам конденсатор, но и часть схемы.

В редких случаях разность потенциалов по постоянному току между двумя точками в схеме может менять свой знак. Это требует применения неполярных электролитических конденсаторов, внутренняя структура которых эквивалентна двум полярным конденсаторам, соединенным последовательно.

### 3.6 Индуктивности

Высокочастотные характеристики индуктивностей могут быть представлены эквивалентной схемой, приведенной на рисунке 7.

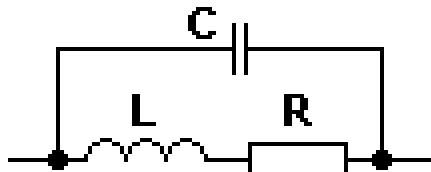


Рис.26. Эквивалентная схема индуктивности

Реактивное сопротивление индуктивности описывается следующей формулой:

$$x_L = 2\pi fL,$$

где  $x_L$  – реактивное сопротивление, Ом  $f$  – частота, МГц  $L$  – индуктивность, Гн.

Следовательно, индуктивность 10 мГн будет обладать реактивным сопротивлением 628 Ом на частоте 10 кГц, а на частоте 100 МГц – сопротивлением 6,28 МОм. Верно ли это?

В действительности, не существует индуктивности с реактивным сопротивлением 6,28 МОм. Природу возникновения паразитного

сопротивления легко понять - витки катушки выполнены из провода, обладающего некоторым сопротивлением на единицу длины. Паразитная емкость воспринимается труднее до тех пор, пока не принять во внимание то, что следующий виток катушки расположен вплотную к предыдущему, и между близко расположенными проводниками возникает емкостная связь. Паразитная емкость ограничивает верхнюю рабочую частоту. Небольшие проволочные индуктивности начинают становиться неэффективными в диапазоне 10...100 МГц [14].

Трассировка печатных плат — это пошаговый процесс создания печатных дорожек в одном из многочисленных САПР печатных плат. Существует два основных способа трассировки: ручной — человек самостоятельно с помощью определенных программных инструментов наносит проводники на плату, и автоматический — программа наносит проводники на печатную плату используя ограничения, наложенные разработчиком[5]. На данный момент все современные системы проектирования имеют сложные и эффективные системы автоматической трассировки, а вместо ручной трассировки печатной платы предлагают разработчикам новый инструмент — интерактивная трассировка. В данном случае разработчик сам наносит проводники на плату, но программа, используя заданные ранее ограничения, позволяет или не позволяет трассировку определенных зон и связей, а также соблюдаются заданные минимальные зазоры. Интерактивная трассировка печатных плат может использоваться как для полностью ручной трассировки, так и для доработок печатной платы после автоматической трассировки[22].

### 3.7. Внешний вид аппарата



Рис.27. Внешний и внутренний вид аппарата

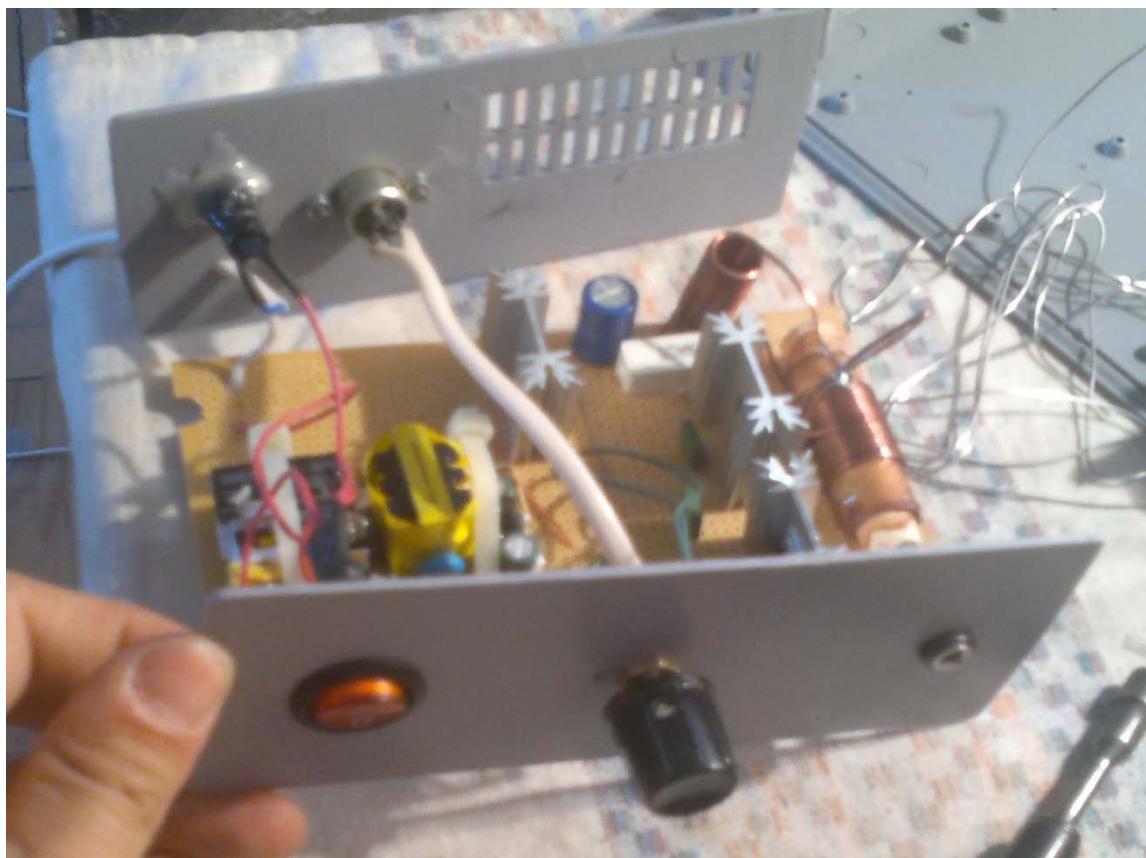
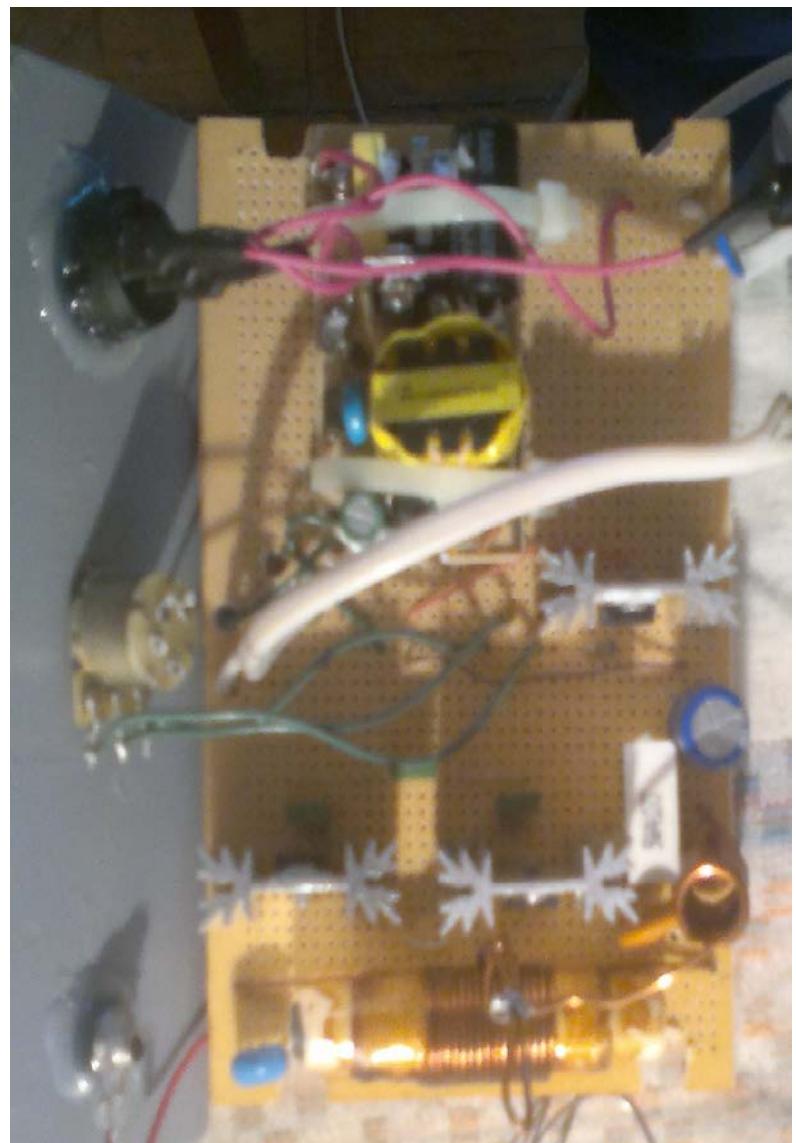


Рис.28. Внешний незаконченный вид аппарата



## **Выводы по главе III**

В третий главе приводятся расчеты выпрямителя переменного тока и силового трансформатора, необходимого для создания прототипа медицинского аппарата для коагуляции. Приводятся электрические схемы данного аппарата, силового трансформатора и блока питания. Описывается вся элементная база аппарата, приводятся схемы конденсаторов и индуктивности. Так же в главе отображены изображения внешнего и внутреннего вида аппарата в готовом виде и приведены основные технические параметры.

## **Заключение**

При выполнении диссертационной работы были получены следующие результаты:

- исследовано и обосновано применение высокочастотных генераторов при создании образца высокочастотного коагуляционного аппарата, широко применяемой в медицине, в частности в хирургии;
- доказано, LC-цепочки имеют ярко выраженные избирательные свойства - колебательные контуры, в состав которых входят катушка индуктивности L и конденсатор C;
- разработана методика расчетов выпрямителя переменного тока и силового трансформатора, необходимого для создания прототипа медицинского аппарата для коагуляции;
- созданы электрические схемы аппарата для коагуляции, силового трансформатора и блока питания.

## **Список использованной литературы**

1. Гусев И.Г., Гусев В.М. Электроника: Учебное пособие. - М.: Высш.шк., 1991.- 662 с.
2. Генераторы высоких и сверхвысоких частот: Учеб. пособие / О.В. Алексеев, А.А. Головков, А.В. Митрофанов и др. - М.: Высш.шк., 2003.- 326с.
3. Петухов В.М. Транзисторы и их зарубежные аналоги. Биполярные транзисторы низкочастотные. Справочник. В 4 т. Т.2. Издание второе, исправленное. – М.: ИП РадиоСофт, 1999. – 544 с., ил.
4. Основы электроники и микроэлектроники/ Б. С. Гершунский. – 3-е изд. перераб. и доп.- К.: Вища школа, 2003.-320 с.
5. Галецкий Ф. Особенности производства печатных плат в России // Электронные компоненты. 2001. № 5. С. 18—26.
6. Котов Е., Махмудов М., Жак Л. Автоматизация процессов прессования многослойных печатных плат. -М.: Радио и связь, 1982. (Б-ка технолога радиоэлектронной аппаратуры).
7. Елшин Ю. М. Система проектирования печатных плат ГРИФ // EDAExpress. 2002. № 5. С. 28-34.
8. Бондаренко В.Г. LC-генераторы синусоидальных колебаний. -М., “Связь”, 1976. – 208 с. с ил.
9. Шинаков Ю.С., Колодяжный Ю.М. Теория передачи сигналов электросвязи: Учебник для техникумов. -М.: Радио и связь.1989.-288 с.
10. ГОСТ 23767-79 Генераторы измерительные. Общие технические требования и методы испытаний.
11. Электрорадиоизмерения: Учебное пособие для вузов/ Винокуров В.И.: высшая школа, 1976. - 264 с
12. Основы электроники и микроэлектроники/ Б. С. Гершунский. – 3-е изд. перераб. и доп.- К.: Вища школа, 1987.-320 с.
13. Усатенко С.Т., Каченюк Т.К. Терехова М.В. Выполнение электрических схем по ЕСКД. – М.: Изд. Стандартов, 1989.

14. «Особенности монтажа высокочастотных генераторов» Кожемякин В.А., Получанкин В.Т. 1978.
15. Березин А.С., Мочалкина О. Р. Технология и конструирование интегральных микросхем.— М.: Радио и связь, 1983.
16. Ефимов И. Е., Горбунов Ю. И., Козырь И. Я. Микроэлектроника. М., 1977.
17. Колобов Н. А. Основы технологии электронных приборов.— М.: Высшая школа, 1980.
18. Расчет электронных схем/Под ред. Г.И. Изьюровой, Г.В. Королева, В.А. Терекова. —М.: Высшая школа, 1987.
19. Ахтямов С. Н., Мелконов Ю. В., Ильина Т. А. Принципы электрохирургии в дерматокосметологии // Вестн. дерматол. венерол. — 2003. — N 3. — С. 58 — 64.
20. Федоров И. В., Никитин А. Т. Клиническая электрохирургия. — М.: ГЭОТАР-МЕДИЦИНА, 1997.
21. В.И. Сергиенко. «Топографическая анатомия и оперативная хирургия». Том - 1. , -М. - 2002г.
22. В.И. Сергиенко. «Учебно-методическое пособие по топографической анатомии и оперативной хирургии». -М. - 2001г.