

Департамент внутренней и кадровой политики Белгородской области  
Областное государственное автономное профессиональное  
образовательное учреждение  
**«Белгородский индустриальный колледж»**

Рассмотрено  
предметно-цикловой комиссией  
Протокол заседания №1  
от « 31 » августа 2020 г.  
Председатель цикловой комиссии  
\_\_\_\_\_ Чобану Л.А..

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ**

**ПМ.01. Техническая эксплуатация систем радиосвязи и вещания**  
**МДК.01.01. Технология монтажа и обслуживания средств систем радиосвязи**  
**Тема 1.1. Радиопередающие устройства**

по специальности  
11.02.10 Радиосвязь, радиовещание и телевидение  
(углубленной подготовки)

Составитель: преподаватель ОГАПОУ  
«Белгородский индустриальный колледж»  
Литвишков Н.А.

Белгород 2020 г.

## Содержание

Лр№ 1	Исследование сложной нагрузочной системы передатчика.	2 часа
Лр№ 2	Исследование автогенератора и синтезатора частот.	2 часа
Лр№ 3	Исследование амплитудной модуляции.	2 часа
Лр№ 4	Исследование частотной модуляции.	2 часа
Лр№ 5	Изучение схемы управления, блокировки сигнализации типового передатчика.	2 часа
	<b>Итого</b>	<b>10 часов</b>

# Лабораторная работа № 1

**Тема:** Исследование сложной нагрузочной системы передатчика..

**Цель работы:** Исследование сложной нагрузочной системы передатчика

Классификация схем ВЧ генераторов определяется:

- типом выходной электрической цепи и ее связью с нагрузкой;
- видом входной электрической цепи и ее связью с источником возбуждения и лампой;
- цепью питания анода и управляющей сетки лампы;
- способом перестройки электрических цепей в диапазонных передатчиках.

В качестве входной и выходной электрических цепей, служащих для согласования лампы с источником возбуждения и нагрузкой, и фильтрации высших гармоник сигнала обычно используется один из четырех вариантов:

- одиночный параллельный колебательный контур,
- два связанных параллельных колебательных контура,
- П-образная схема
- Т-образная схема (рис.1).

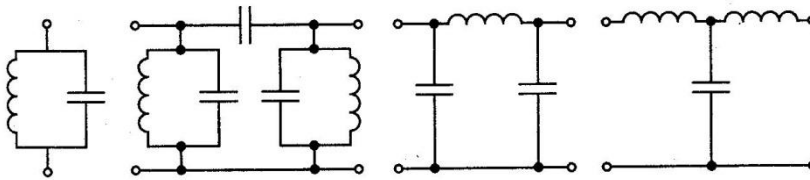


Рис. 1. Входные и выходные цепи ГВВ

Все цепи характеризуются полосой пропускания и коэффициентом передачи сигнала по мощности. Полоса пропускания одиночного контура (см. рис. 1,а) определяется согласно. Три других типа цепей (см. рис. 1, б – г) имеют более широкую полосу пропускания.

Коэффициент передачи показывает, какая часть мощности ВЧ сигнала передается в нагрузку..

Для уменьшения потерь в электрической цепи значение коэффициента передачи

следует иметь по возможности близким к 1 и не менее 0,8...0,9. Связь электрической цепи с нагрузкой, источником возбуждения и лампой для их согласования между собой может быть: емкостной, индуктивной, трансформаторной и смешанного типа (рис. 2).

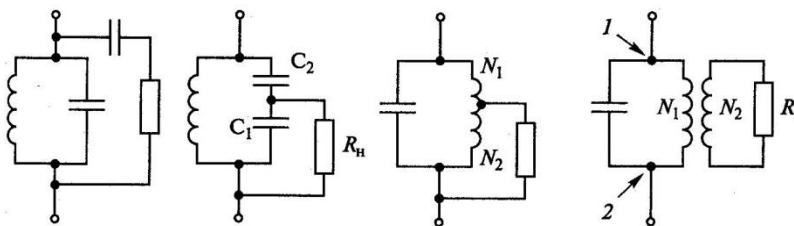


Рис. 2. Виды связи контура ГВВ с нагрузкой

Все виды связи характеризуются коэффициентом  $K_{CB}$  показывающим, как сопротивление нагрузки пересчитывается к определенным точкам электрической цепи. В случае параллельного колебательного контура этот пересчет осуществляется к точкам 1 – 2 схемы.

По видам цепей питания анода и управляющей сетки лампы различают: схемы с последовательным питанием (рис. 3, а); схемы с параллельным питанием (рис. 3, б). Преимущество схемы последовательного типа состоит в том, что в ней дроссель  $L_{ДР}$  не шунтирует анодный контур, параллельного типа и элементы этого контура не находятся под высоким анодным напряжением, что особенно важно при перестройке контура.

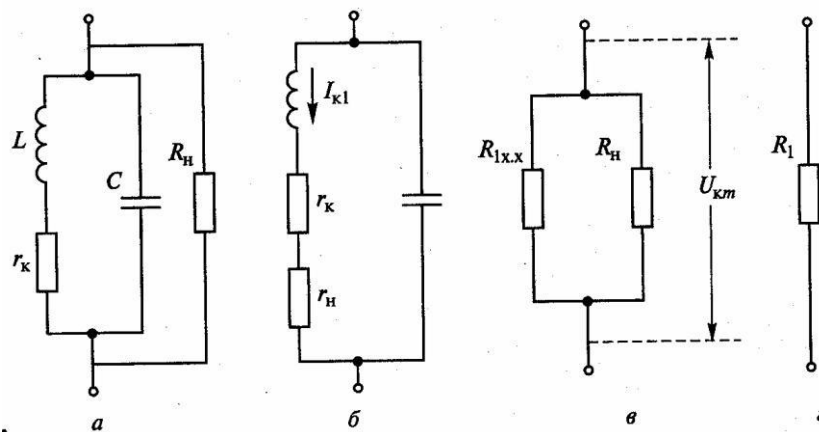


Рис. 3. Параллельная схема замещения нагруженного контура ГВВ

При изменении частоты излучаемого сигнала в диапазонных радиопередатчиках необходимо перестраивать все контуры в генераторных каскадах, резонансные частоты которых должны быть равны частоте возбудителя.

Такая перестройка электрических цепей осуществляется или с помощью конденсаторов переменной емкости, или путем изменения индуктивности контура, или за счет изменения обоих элементов. При работе радиопередатчика в большой полосе частот весь диапазон обычно разбивается на поддиапазоны.

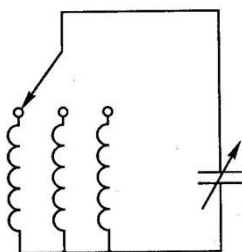


Рис. 4. Перестройка электрических цепей ГВВ изменением элементов резонансного контура

При этом, например, возможен такой вариант: переход с одного поддиапазона на другой осуществляется переключением катушек индуктивности, а перестройка внутри поддиапазона – с помощью конденсатора переменной емкости

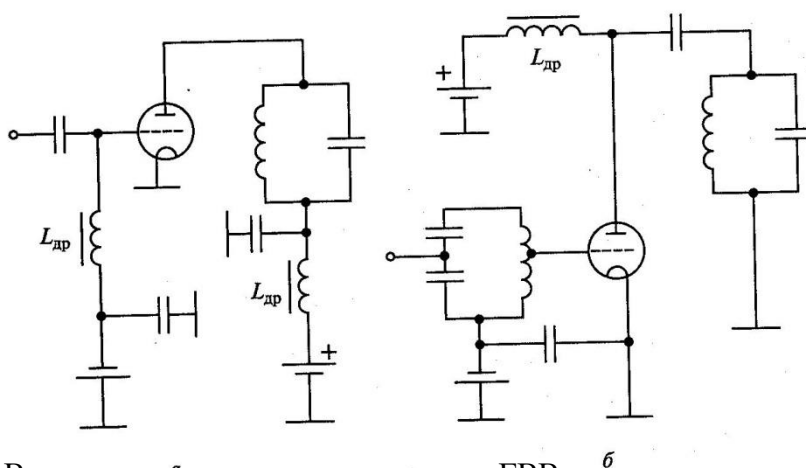


Рис. 5. Виды питания анода и сетки лампы ГВВ.

В современных радиопередатчиках настройка контуров в резонанс с частотой усиливаемого сигнала осуществляется с помощью устройств автоматического регулирования. В отличие от названных механических способов перестройки контуров особое место занимают электрические методы, осуществляемые с помощью ферритов и полупроводниковых приборов-варикапов. Комбинируя типы согласующих электрических цепей, их связи с нагрузкой, источником возбуждения и лампой, способы соединения лампы с источниками питания и методы перестройки контуров, создают разнообразные схемы ВЧ генераторов с внешним возбуждением.

Одна из них представлена на рис. 5.

Рассмотрим еще одну схему, позволяющую складывать мощности двух генераторных ламп (рис. 6). Такая схема называется двухтактной. Сигналы на управляющие сетки ламп подаются в схеме в противофазе, т.е. повернутыми на  $180^\circ$ , в результате чего лампы работают попеременно, возбуждая общий анодный контур.

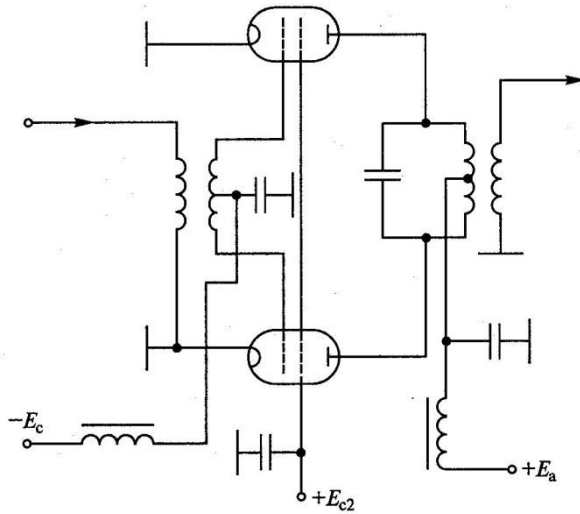


Рис. 6. Двухтактная схема сложения мощностей ГВВ

Преимуществами двухтактной схемы помимо возможности двукратного увеличения выходной мощности ВЧ сигнала являются:

- повышение устойчивости работы;
- фильтрация четных гармоник ;
- лучшее блокирование цепей питания от проникновения в них токов высокой частоты.

Классификация схем ВЧ генераторов определяется: типом выходной электрической цепи и ее связью с нагрузкой; видом входной электрической цепи и ее связью с источником возбуждения и лампой; цепью питания анода и управляющей сетки лампы; способом перестройки электрических цепей в диапазонных передатчиках.

### Вопросы для самоконтроля

- 1 Нарисуйте типовую схему лампового генератора с внешним возбуждением.
- 2 Назовите и опишите три режима работы по напряженности генератора с внешним возбуждением.

## Лабораторная работа № 2

**Тема:** Исследование автогенератора и синтезатора частот.

**Цель работы:** исследовать схему автогенератора и синтезатора частот

Назначение автогенератора (АГ) состоит в генерации ВЧ колебаний. В АГ происходит преобразование энергии источника постоянного тока в энергию ВЧ колебаний. АГ входит в радиопередающее и радиоприемное устройства.

Классификация АГ. В зависимости от диапазона частот.

АГ делятся на две группы: ВЧ и СВЧ. Граница между ними составляет 300 МГц. Различительным признаком может являться не само значение частоты генерируемых колебаний, а тип используемых электрических цепей. В ВЧ генераторах используются цепи с сосредоточенными, а в СВЧ – с распределенными параметрами.

Способы стабилизации частоты автоколебаний:

- параметрическая с использованием обычных колебательных систем;
- кварцевая с использованием в качестве резонатора кристалла кварца;
- с диэлектрическим резонатором (только в СВЧ диапазоне);
- молекулярная за счет индуцированного возбуждения атомов.

По типу электронного прибора и схеме различают два типа АГ:

- с применением электронного прибора с положительной обратной связью,
- с применением генераторного диода (туннельного, лавинно-пролетного или диода Ганна).

По взаимодействию с другими звеньями аппаратуры различают АГ

- действующие в автономном режиме, в режиме синхронизации частоты внешним сигналом и
- в составе устройства автоматической подстройки частоты.

По использованию в составе радиотехнического устройства возможно следующее разделение АГ:

- опорные, с повышенной стабильностью частоты, синхронизирующие работу всех звеньев и каскадов устройства;
- диапазонные, перестраиваемые по частоте, в том числе и в составе синтезатора частот.

Работу АГ характеризуют следующие параметры: диапазон частот, мощность автоколебаний в нагрузке, нестабильность частоты.

Возможны два типа построения АГ с колебательной системой.

В АГ первого типа используется электронный прибор, представляемый в виде нелинейного генератора тока  $i(u)$ , где  $u$  – управляющее напряжение (рис. 1, а). За счет цепи обратной связи часть мощности сигнала из колебательной системы поступает на вход электронного прибора. После усиления поступившие колебания возвращаются в колебательную систему, компенсируя потери и поддерживая устойчивый режим автоколебаний. При этом необходимо соблюдение условия синхронизма, состоящее в равенстве фаз колебаний, отобранных из колебательной системы и вновь туда поступивших.

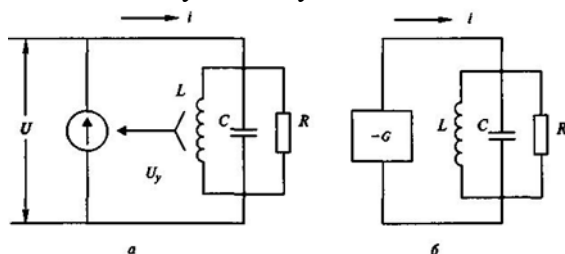


Рис. 14.1. Схема АГ первого типа (с обратной связью)

Основой второго типа АГ являются специальные генераторные диоды, в эквивалентной схеме которых имеется отрицательная активная проводимость (например, по причине падающего участка в ВАХ или запаздывания сигнала в приборе). Такой прибор при подключении к колебательной системе компенсирует в ней потери, благодаря чему поддерживается режим автоколебаний (рис. 1, б).

Установившийся режим автоколебаний

После включения АГ в нем начинается переходный процесс, в течение которого амплитуда автоколебаний возрастает от 0 до некоторого значения  $U_m$ . По окончании переходного процесса,

длящегося  $t_{пер}$ , устройство переходит в режим установившихся автоколебаний (рис. 2). Время  $t_{пер}$  можно найти, составив и решив нелинейное дифференциальное уравнение, описывающее работу АГ.

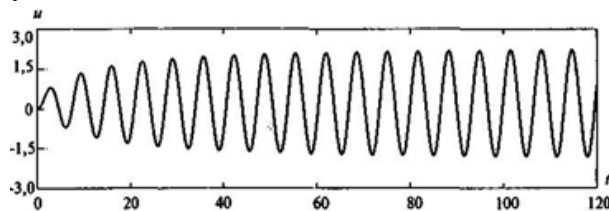


Рис. 2. Установление автоколебаний в АГ

В тех случаях, когда отсутствует необходимость определения  $t_{пер}$ , можно ограничиться исследованием только установившегося режима работы.

Поскольку электронный прибор поворачивает фазу сигнала на величину, близкую к  $\pi$ , то на такую же величину должен происходить поворот фазы сигнала и за счет цепи обратной связи. Данному требованию отвечает трехточечная схема АГ (рис.3).

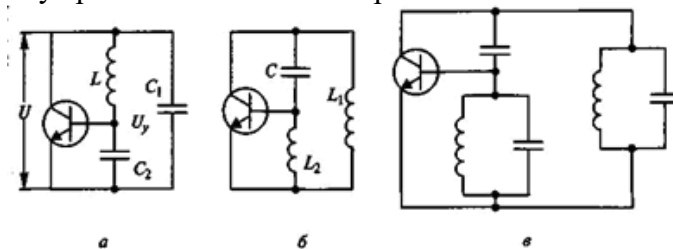


Рис. 3. Трехточечная схема АГ

Первая из схем (рис.3, а) называется емкостной, в ней модуль  $K=C_1/C_2$ , вторая (рис.3, б) – индуктивной, в ней модуль  $K=L_2/L_1$ .

Обе схемы могут рассматриваться как эквивалентные по отношению и к двухконтурной (рис.3, в) и к иным схемам автогенератора.

Полная электрическая схема одноконтурного транзисторного АГ с цепью питания и смещения приведена на рис. 4, а, двухконтурного – на рис. 4, б.

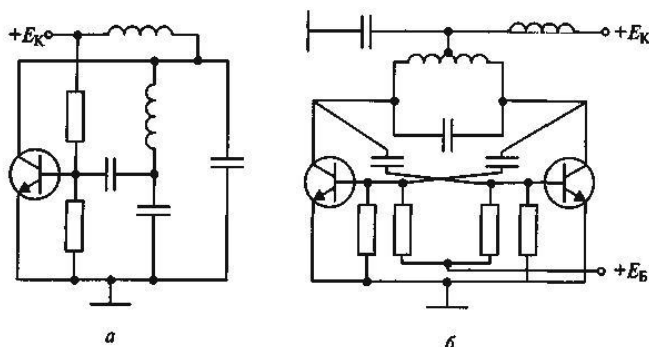


Рис. 4. Схемы транзисторного АГ

Автогенератор с включением кварцевого резонатора в цепь обратной связи  
Наиболее предпочтительна схема с использованием возбуждения на частоте  $\omega$  (рис.5., а).

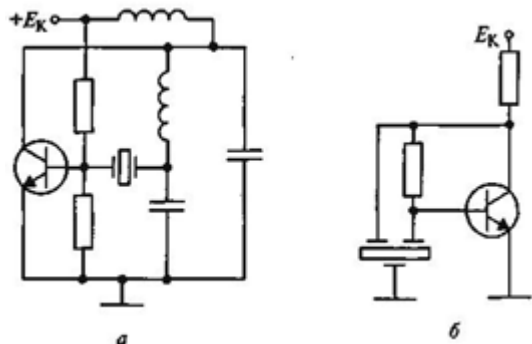


Рис. 5. Схемы АГ с включением кварцевого резонатора в цепь обратной связи

Поскольку на частоте  $\omega$  кварцевый резонатор имеет малое сопротивление  $r_k$ , то цепь обратной

связи оказывается замкнутой и возможны автоколебания с частотой 1. Для всех остальных частот сопротивление кварца велико, цепь обратной связи оказывается разомкнутой, и автоколебания возникнуть не могут.

Другая схема кварцевого АГ интегрального типа приведена на рис. 4, б. В ней сдвиг сигнала на  $180^\circ$  для соблюдения условия баланса фаз достигается за счет запаздывания сигнала в кварцевом резонаторе.

Назначение и параметры синтезатора частот

Синтез частот – формирование дискретного множества частот из одной или нескольких опорных частот  $f_{оп}$  (рис. 6). Опорной называется высокостабильная частота автогенератора, обычно кварцевого.



Рис. 6. Синтез частот дискретного множества частот из одной опорной.

Синтезатор частот (СЧ) – устройство, реализующее процесс синтеза. Синтезатор используется в радиоприемных и радиопередающих устройствах систем радиосвязи, радионавигации, радиолокации и другого назначения.

Основными параметрами синтезатора являются: диапазон частот выходного сигнала, количество  $N$  и шаг сетки частот  $\Delta f_{ш}$ , долговременная и кратковременная нестабильность частоты, уровень побочных составляющих в выходном сигнале и время перехода с одной частоты на другую. В современных синтезаторах число формируемых им дискретных частот может достигать десятков тысяч, а шаг сетки изменяться от десятков герц до десятков и сотен кГц. Долговременная нестабильность частоты, определяемая кварцевым автогенератором, составляет  $10^{-6}$ , а в специальных случаях –  $10^{-8} \dots 10^{-9}$ . Диапазон частот синтезатора меняется в больших пределах в зависимости от назначения аппаратуры, в которой он используется. На первой стадии развития синтезатор частот состоял из большого числа кварцевых автогенераторов, с помощью которых путем суммирования и умножения частот сигналов с их дальнейшей фильтрацией удавалось создать определенную сетку частот. В настоящее время один из основных способов построения синтезатора основывается на применении схемы импульсно-фазовой автоподстройки частоты и элементов вычислительной техники.

Цифровой синтезатор частот

Структурная схема синтезатора с одним кольцом фазовой автоподстройки частоты приведена на рис. 7.

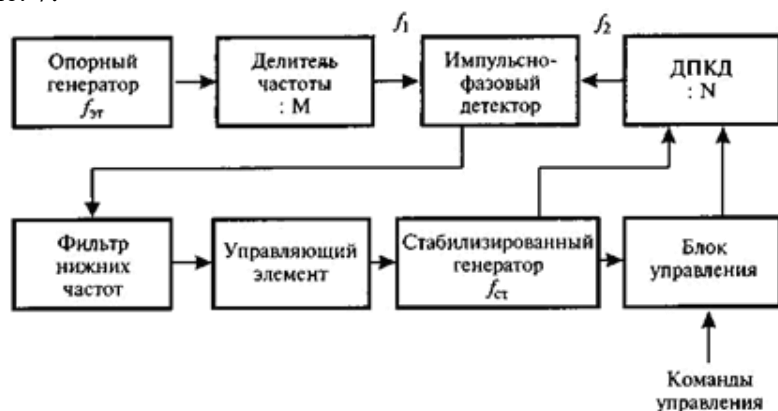


Рис. 7. Структурная схема синтезатора с одним кольцом фазовой автоподстройки частот

Данная схема соответствует общей схеме автоматической подстройки частоты (рис. 7), если под преобразователями частоты понимать делитель в  $M$  раз частоты опорного генератора и делитель в  $N$  раз частоты стабилизируемого генератора, а под звеном сравнения – импульсно-фазовый дискриминатор.

На схеме ДПКД - делитель с переменным коэффициентом деления



*K*-разрядный программируемый цифровой счетчик.

Назначение других звеньев схемы ясно из сделанных на них надписей. В блоке управления осуществляется прием и хранение данных программирования и формирование кодового сигнала, по которому устанавливается значение коэффициента деления  $N$  в зависимости от поступившей на синтезатор команды. В результате действия фазовой автоподстройки частоты устанавливается равенство частот сигналов, поступающих на вход импульсно-фазового дискриминатора

Например требуется создать синтезатор с диапазоном частот 118...136 МГц и шагом  $f_{\text{ш}}=25$  кГц.

Выбираем частоту кварцевого автогенератора  $f_{\text{эГ}}=1$  МГц.

отсюда требуемое значение  $M=1000/25=40$ .

для нижней частоты 118 МГц следует иметь:

$$N_1 = 118000/25=4720,$$

для верхней частоты 136 МГц следует иметь:

$$N_2=136000/25=5440.$$

Следовательно, с помощью ДПКД – цифрового счетчика – следует обеспечить изменение коэффициента деления  $N$  через 1 в пределах 4720...5440.

Современные синтезаторы частот строятся на основе одной большой микросхемы, в которую объединяются все звенья схемы рис. 7, за исключением управляемого по частоте стабилизируемого автогенератора.

### **Вопросы для самоконтроля**

- 1 В чем состоит назначение АГ?
- 2 По каким признакам производится классификация АГ?
- 3 Нарисуйте две трехточечные схемы транзисторных АГ.
- 4 Какие свойства кварца обеспечивают высокую стабильность частоты?
- 5 Нарисуйте схему АГ с кварцем в цепь обратной связи. Поясните работу схемы.
- 6 В чем состоит назначение синтезатора частот? Какие параметры определяют его работу?
- 7 Нарисуйте структурную схему цифрового синтезатора частот. Поясните принцип ее работы.
- 8 Как производится перестройка частоты в цифровом синтезаторе?

## Лабораторная работа № 3

**Тема.** Исследование амплитудной модуляции.

**Цель работы:** исследовать схемы амплитудной модуляции.

При АМ в соответствии с законом передаваемого сообщения меняется амплитуда модулируемого сигнала. Поэтому при тестовом тональном модулирующем сигнале имеем для высокочастотного модулируемого сигнала:

$$u(t) = U_0 [1 + m \cos t \cos \omega_0 t],$$

где  $m = U_{\text{мод}} / U_0$  – коэффициент амплитудной модуляции;  $\omega_0$  – частота несущих колебаний. График функции (19.4), который можно наблюдать на экране осциллографа, приведен на рис. 19.4.

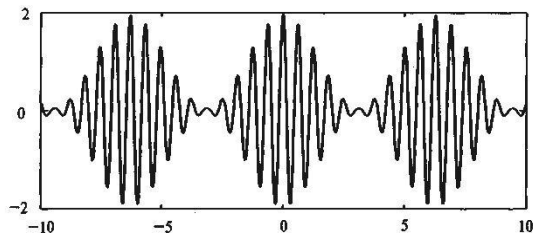


Рис. 19.4. Осциллограмма функции амплитудной модуляции.

По помехоустойчивости АМ существенно уступает частотной и фазовой и поэтому в современных радиотехнических системах практически не применяется. Однако в давно действующих системах, работающих в длинно-, средне- и коротковолновых диапазонах волн, амплитудный вид модуляции является доминирующим.

АМ осуществляется в генераторах с независимым возбуждением в основном в выходном или предоконечном каскадах путем изменения напряжения на одном или нескольких электродах электронного прибора. В соответствии с этим в транзисторных генераторах различают коллекторную, базовую и эмиттерную АМ, а в ламповых – анодную, анодно-экранную, сеточную и катодную. При модуляции только предоконечного каскада выходной ВЧ усилитель мощности работает в режиме усиления модулированных колебаний. Общая структурная схема усилительного тракта РПДУ, относящаяся ко всем способам АМ, изображена на рис. 19.5. Передаваемое сообщение поступает на вход модулятора, и после усиления модулирующий сигнал мощностью  $P_{\text{мод}}$  поступает на ВЧ усилитель. Требуемое значение  $P_{\text{мод}}$  зависит от мощности высокочастотных колебаний  $P_1$ , коэффициента  $m$  и способа модуляции. Требуемая мощность источника питания  $P_0$  также определяется данными параметрами.



Рис. 19.5. Структурная схема усилительного тракта РПДУ

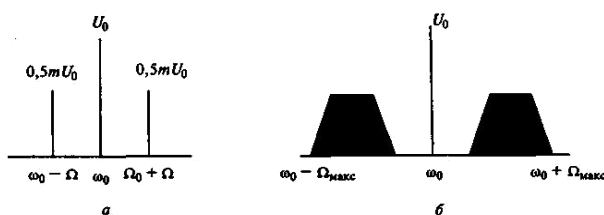


Рис. 19.6 Спектр АМ колебания

Спектр АМ колебания имеет вид на рис. 19.6 из которого следует, что спектр колебания при амплитудной модуляции тональным сигналом состоит из трех составляющих с частотами:  $\omega_0$

(совпадает с частотой несущей),  $0-$  (нижняя боковая),  $0+$  (верхняя боковая), мощности между которыми распределены в пропорции:  $1:(0,5m^2):(0,5m^2)$  (рис. 19.6, а), а сумма определяется согласно (19.6 б).

Две характеристики при АМ определяют свойства радиопередатчика в целом: модуляционная  $m=\Phi(U)$  (рис. 19.7, а) и модуляционно-частотная  $m=\Phi(F)$  (рис. 19.7, б), где  $U$  – амплитуда и частота модулирующего сигнала

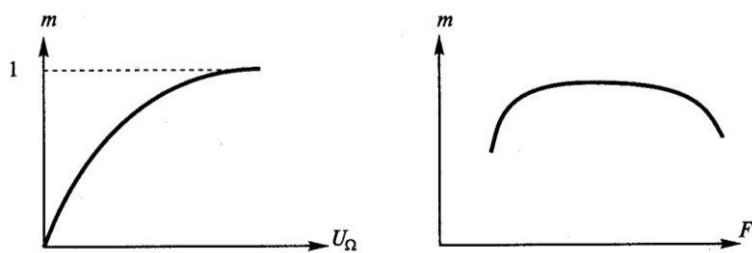


Рис. 19.7. Модуляционная  $m=\Phi(U)$  (а) и модуляционно-частотная  $m=\Phi(F)$  (б) характеристики при АМ

### Амплитудная анодная и коллекторная модуляция

Схемы соединения модулируемого каскада (ВЧ генератора) и амплитудного модулятора при анодной и коллекторной модуляции приведены на рис. 19.8.

Схемы соединения модулируемого каскада (ВЧ генератора) и амплитудного модулятора при анодной и коллекторной модуляции приведены на рис. 19.8.

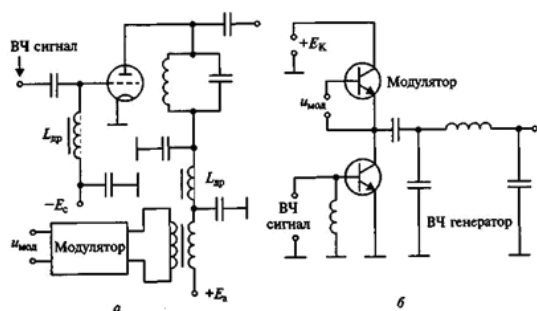
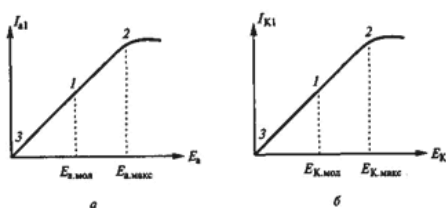


Рис. 19.8. Схемы соединения модулируемого каскада (ВЧ генератора) и амплитудного модулятора при анодной и коллекторной модуляции

На схеме рис. 19.8, а показано соединение модулятора с ВЧ генератором с помощью трансформатора. В транзисторных радиопередатчиках возможна также бестрансформаторная связь между ними благодаря использованию модуляторного транзистора в качестве управляемого переменного сопротивления, включенного в коллекторной цепи генераторного транзистора (рис. 19.8, б). В первом случае напряжение источника питания выбирается исходя из режима молчания; во втором случае – исходя из максимального режима.

В соответствии с данным определением при анодной модуляции это есть зависимость 1-й гармоники анодного тока ВЧ лампового генератора  $I_{a1}$  от постоянного напряжения на аноде лампы  $E_a$  в динамическом режиме работы (рис. 19.9, а), при коллекторной модуляции – зависимость 1-й гармоники коллекторного тока ВЧ транзисторного генератора  $I_{K1}$  от постоянного напряжения на коллекторе  $E_K$  в динамическом режиме работы (рис. 19.9, б).



На характеристиках точке 1 соответствует режим молчания или не-сущей, точке 2 – максимальный, точке 3 – минимальный режим. Чем меньше графики модуляционных характеристик  $I_{a1}(E_a)$  и  $I_{K1}(E_K)$  отклоняются от прямой линии, тем меньше уровень нелинейных

искажений передаваемого сообщения за счет амплитудной модуляции. Для получения линейности этих графиков точка 2 на них должна соответствовать граничному режиму работы, а все остальные – перенапряженному.

### Амплитудная сеточная и базовая модуляция

Схемы соединения модулируемого каскада (ВЧ генератора) и амплитудного модулятора с помощью трансформатора при сеточной и базовой модуляции приведены на рис. 19.10.

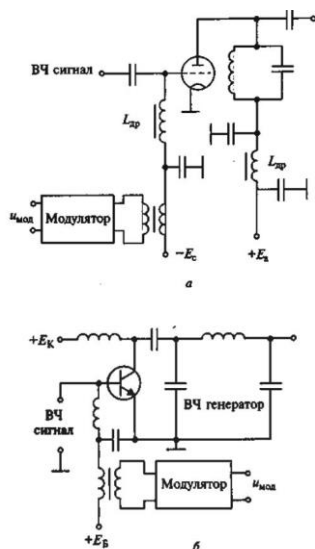


Рис. 19.10. Схемы соединения модулируемого каскада (ВЧ генератора) амплитудного модулятора с помощью трансформатора при сеточной базовой модуляции

В соответствии определением статической модуляционной характеристики при сеточной модуляции это есть зависимость 1-й гармоники анодного тока ВЧ лампового генератора  $I_{a1}$  от постоянного напряжения смещения на сетке лампы  $E_c$  в динамическом режиме работы (рис. 19.11, а); при базовой модуляции – зависимость 1-й гармоники коллекторного тока ВЧ транзисторного генератора  $I_{K1}$  от постоянного напряжения смещения на базе  $E_b$  в динамическом режиме работы (рис. 19.11, б).

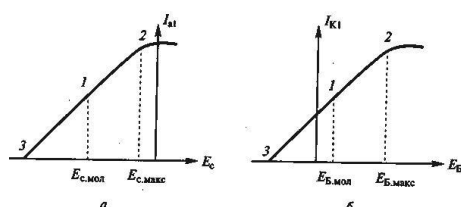


Рис. 19.11. Статические характеристики

На характеристиках точке 1 соответствует режим молчания или несущей, точке 2 – максимальный, точке 3 – минимальный режим. Чем меньше графики модуляционных характеристик  $I_{a1}(E_c)$  и  $I_{K1}(E_b)$  отклоняются от прямой линии, тем меньше уровень нелинейных искажений передаваемого сообщения за счет амплитудной модуляции. Для получения линейности этих графиков точка 2 на них должна соответствовать граничному режиму работы, а все остальные – недонапряженному.

При этом КПД генератора на протяжении всей характеристики меняется по линейному закону, уменьшаясь начиная с точки 2.

### Вопросы для самоконтроля

- 1 В чем состоит сущность процесса модуляции?
- 2 Перечислите основные виды модуляции.
- 3 Чем отличается немодулированный сигнал от модулированного?
- 4 Что означает понятие «выделенная полоса частот»?
- 5 Что такое внеполосные излучения и причина их появления?
- 6 Какой спектр имеет сигнал при амплитудной модуляции?
- 7 Как осуществляется анодная и коллекторная амплитудная модуляция?
- 8 Как осуществляется сеточная и базовая амплитудная модуляция?
- 9 Проведите сравнение разных видов амплитудной модуляции.

## Лабораторная работа № 4

**Тема:** Исследование частотной модуляции.

**Цель работы:** исследовать принципы и схемы частотной модуляции

Поскольку мгновенная частота  $\omega(t)$  с фазой  $\theta(t)$  сигнала связана соотношением:

$$\theta(t) = \int \omega(t) dt,$$

то частотная и фазовая модуляция взаимосвязаны, их объединяют даже общим названием – угловая модуляция. При частотной модуляции (ЧМ) мгновенная частота сигнала изменяется по закону модулирующего сигнала, при фазовой (ФМ) – фаза.

При ЧМ тональным сигналом несущее колебание примет вид (рис. 21.1):

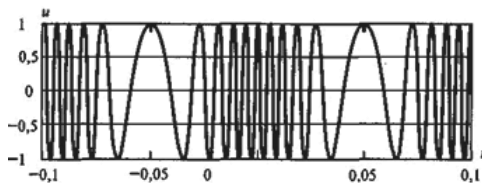


Рис. 21.1 Несущее колебание, модулированное ЧМ тональным сигналом

При частоте модулирующего сигнала  $\omega_m = \text{const}$  отличить ЧМ от ФМ не представляется возможным.

Это различие можно обнаружить только при изменении частоты следовательно, девиация частоты пропорциональна частоте модулирующего сигнала. Данное различие между ЧМ и ФМ иллюстрируется с помощью графиков, построенных на рис. 21.2.

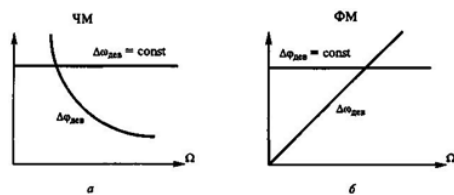


Рис. 21.2. Различие между ЧМ и ФМ

Таким образом при ЧМ и ФМ меняется как мгновенная частота, так и фаза модулируемого ВЧ сигнала. Основные параметры, характеризующие эти виды модуляции – девиация частоты  $\Delta_{\text{дв}}$  и девиация фазы  $\Delta_{\text{фв}}$ , – по-разному зависят от частоты модулирующего сигнала.

Спектр сигнала при частотной и фазовой модуляции имеет бесконечное число спектральных составляющих, расположенных симметрично относительно частоты 0 через интервалы, равные  $\omega_m$ . Частоты этих спектральных составляющих равны  $0 \pm n \omega_m$ , а амплитуды –  $U_0 J_n(m\chi)$ . Аналогичный результат получается и при фазовой модуляции с заменой параметра  $m\chi$  на  $\Delta_{\text{фв}}$ .

С помощью приведенных графиков можно построить спектр ЧМ и ФМ сигнала при заданном значении  $m\chi = x$  или  $\Delta_{\text{фв}} = x$ . В качестве примера такие спектрограммы при  $m\chi = 5$  и  $m\chi = 2,4$  приведены на рис. 21.3.

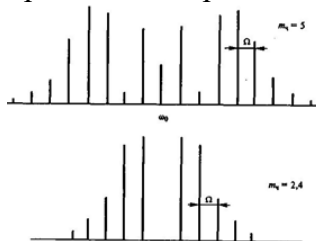


Рис. 21.3 Спектр ЧМ и ФМ сигнала при заданном значении  $m\chi = 5$  и  $m\chi = 2,4$

Следует заметить, что спектральная составляющая с частотой 0, и несущая с частотой  $\omega_0$  – разные понятия. Так, при  $m\chi = 2,4$  спектральная составляющая с частотой 0 равна 0, но это не означает отсутствие не-сущей в сигнале. Теоретически спектр ЧМ сигнала безграничен. Однако, как показывает анализ, большая часть энергии ЧМ сигнала сосредоточена в полосе

$$\Delta = f_{\text{сн}} 2(1 + m_{\text{ч}}) F,$$

где  $F$  – высшая частота в спектре модулирующего сигнала.

Именно на эту величину и следует рассчитывать полосы пропускания ВЧ трактов радиопередатчиков и радиоприемников. При  $m_{\text{ч}} \ll 1$  ширина спектра ЧМ сигнала:  $f_{\text{сш}} = 2F$ . ЧМ с индексом  $m_{\text{ч}} < 1$  является узко-полосной, с индексом  $m_{\text{ч}} > 2 - 3$  – широкополосной. Преимущества ЧМ в полной мере реализуются при  $m_{\text{ч}} > 1$ .

Методы осуществления угловой модуляции можно разделить на прямые и косвенные. Прямой метод при ЧМ означает непосредственное воздействие на колебательную систему автогенератора, определяющую частоту колебаний. Косвенный метод состоит в преобразовании ФМ в ЧМ. Прямой метод при ФМ означает воздействие на ВЧ усилитель или умножитель частоты, т.е. на электрические цепи, определяющие фазу высокочастотных колебаний. Косвенный метод заключается в преобразовании частотной модуляции в фазовую. Сказанное можно пояснить с помощью четырех структурных схем, представленных на рис. 21.4, на которых приняты следующие обозначения: Г – автогенератор, У – усилитель, ЧМ – частотный модулятор, ФМ – фазовый модулятор, И – интегратор. Для преобразования ФМ в ЧМ на входе фазового модулятора включается интегратор (рис. 21.4, в), а частотной – в фазовую на входе ЧМ – дифференцирующая цепь (рис. 21.4, г).

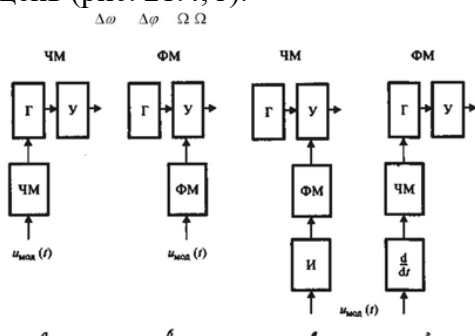


Рис. 21.4 Структурные схемы для получения ЧМ и ФМ прямым и косвенным методами

Наибольшее применение имеет ЧМ на основе варикапа – полупроводникового диода с обратным смещенным р-п-переходом. Закон изменения емкости р-п-перехода, называемой барьерной, или зарядной, от величины обратного напряжения  $U$  имеет вид:

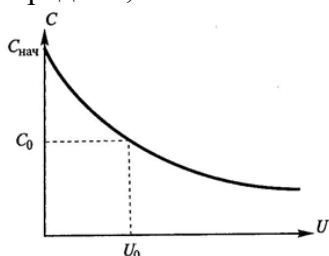
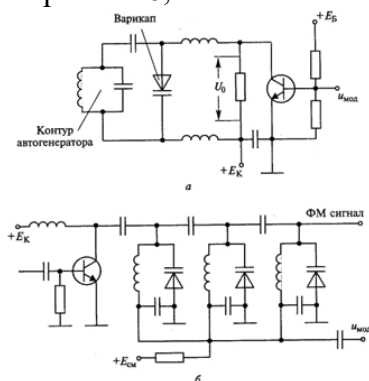


Рис. 21.5. График зависимости изменения барьерной емкости варикапа от величины обратного напряжения

Схема ЧМ с варикапом в контуре автогенератора, приведена на рис. 21.6,а. Схема ФМ с тремя контурами ВЧ усилителя и тремя варикапами, что позволяет увеличить девиацию фазы, изображена на рис. 21.6,б



21.6. Стабилизация частоты несущей при частотной модуляции

Поскольку при прямом методе ЧМ к контуру автогенератора подключается частотный модулятор, то это приводит к снижению стабильности частоты автоколебаний. Для нейтрализации этого явления используют три способа:

1. модуляцию осуществляют в кварцевом автогенераторе;
2. применяют косвенный метод модуляции, т.е. преобразование ФМ в ЧМ согласно схеме на рис. 21.4, в;
3. стабилизируют частоту автогенератора, к которому подключен частотный модулятор, с помощью системы АПЧ.

Два первых способа обеспечивают получение сравнительно малой девиации частоты, и поэтому они применяются в основном при узкополосной ЧМ, когда девиация частоты не превышает нескольких килогерц.

Пример схемы кварцевого автогенератора с частотным модулятором на варикапе приведен на рис. 21.7. В ней  $f_{\text{дев}}=2...3$  кГц при частоте несущей 10...20 МГц.

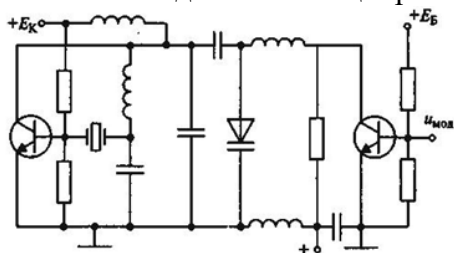


Рис. 21.7 схемы кварцевого автогенератора с частотным модулятором на варикапе

Третий метод позволяет обеспечить малую нестабильность частоты, требуемое, в том числе большое, значение девиации частоты. Структурная схема устройства автоматической подстройки частоты автогенератора с подключенным к нему частотным модулятором приведена на рис. 21.8.

В схеме на рис. 21.8 частотный модулятор подключен к стабилизируемому автогенератору (рис. 21.6,а). Следует установить такое быстродействие системы авторегулирования, чтобы она реагировала на относительно медленные изменения частоты автогенератора под действием дестабилизирующих факторов.



Рис. 21.8. Структурная схема АПЧ автогенератора с подключенным к нему частотным модулятором  
Для реализации данного условия АЧХ замкнутого кольца АПЧ должна иметь вид согласно рис. 21.9, на котором 1- 2 спектр частот модулирующего сигнала.

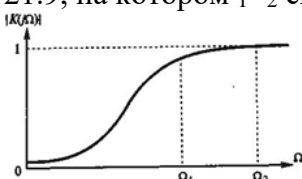


Рис. 21.9. АЧХ замкнутого кольца АПЧ

Методы осуществления угловой модуляции можно разделить на прямые и косвенные. Прямой метод при ЧМ означает непосредственное воздействие на колебательную систему автогенератора, определяющую частоту колебаний. Косвенный метод состоит в преобразовании ФМ в ЧМ.

### Вопросы для самоконтроля

1. Каким соотношением связаны частота с фазой сигнала?
2. Как меняется частота и фаза сигнала при частотной модуляции?
3. Как меняется частота и фаза сигнала при фазовой модуляции?
4. Какой спектр имеет сигнал при частотной и фазовой модуляции?
5. Как отличить частотную модуляцию от фазовой?

## Лабораторная работа № 5

**Тема:** Изучение схемы управления, блокировки сигнализации типового передатчика.

**Цель работы:** Исследовать схему управления, блокировки сигнализации типового передатчика.

Измерение параметров радиопередатчиков осуществляется на этапе регулировки, испытаниях и эксплуатации. Обобщенная структурная схема стенда по измерению параметров радиопередатчиков малой и средней мощности приведена на рис. 1.



Рис. 1. Обобщенная структурная схема стенда по измерению параметров радиопередатчиков малой и средней мощности

Согласно этой схеме мощность радиопередатчика измеряется или с помощью специальной эквивалентной нагрузки, заменяющей антенну, или путем определения мощности падающей и отраженной волны и подсчета мощности, передаваемой в нагрузку. Измерение параметров, связанных с модуляцией, производится с помощью специальных приборов, определяющих девиацию частоты при частотной модуляции или значение коэффициента  $m$  при амплитудной. Измерение частоты излучаемого сигнала и ее стабильность осуществляются с помощью измерителя частоты, спектра сигнала – с помощью спектр-анализатора, формы огибающей сигнала – осциллографа. Для всех перечисленных измерений из основного канала передачи мощности с помощью специального ответвителя отбирается небольшая часть мощности сигнала (не более 1%), который и поступает на измерительные приборы. Для измерения параметров радиопередатчика в режиме модуляции на вход радиопередатчика подается соответствующий сигнал от генератора низкой частоты или от специального генератора тестового сигнала. При измерении радиопередатчика в двухчастотном режиме к собственному сигналу радиопередатчика может подмешиваться второй сигнал от генератора высокой частоты. При проведении измерений следует руководствоваться следующими правилами:

- измерительные приборы по диапазону частот должны соответствовать параметрам проверяемого радиопередатчика;
- подключаемые к радиопередатчику приборы не должны вносить в испытуемый радиопередатчик никаких изменений в режим его работы;
- точность проводимых измерений должна соответствовать требованиям, изложенным в технической документации.

Всю измерительную аппаратуру при проведении испытаний необходимо заземлять. Измерение параметров радиопередатчиков в составе радиостанции в процессе эксплуатации производится обычно в автоматическом режиме. С помощью специальных датчиков, встроенных в аппаратуру, в специальном тестовом режиме с них считываются показания, и после их обработки



выдается протокол результатов проведенных измерений, позволяющий судить о соответствии параметров радиопередатчика нормам технической документации. Измерение параметров радиопередатчиков большой мощности также может проводиться согласно схеме, приведенной на рис. 1, путем отбора из основного канала небольшой мощности, не более, например, 100 МВт.

Регулировка радиопередатчиков носит двухступенчатый характер: на уровне каскадов и всего устройства в целом. Регулировка на уровне каскада – процесс подбора такой комбинации элементов схемы устройства, при которой ее параметры и характеристики соответствуют технической документации.

В случае СВЧ схем регулировка может сводиться к подбору ширины полосковой линии путем подпайки к ней маленьких площадок.

**Пример регулировки одного из каскадов радиопередатчика – ВЧ транзисторного генератора с внешним возбуждением.**

Регулировка производится с помощью измерительной аппаратуры, приведенной на рис. 2. После проверки правильности монтажа на генератор подаются напряжения питания и путем регулировки сопротивлений в цепи смещения устанавливается начальный коллекторный ток при отсутствии сигнала возбуждения. (При работе с углом отсечки  $< 90^\circ$  напряжение смещения не подается). Затем, плавно увеличивая сигнал требуемой частоты от генератора стандартного сигнала (ГСС), подключенного к входу усилителя, следят за показаниями всех приборов. Регулировкой или подбором элементов в согласующих электрических цепях добиваются появления выходного сигнала, фиксируемого измерителем мощности.



Рис. 2. Измерительная аппаратура для регулировки ВЧ транзисторного генератора с внешним возбуждением

Добившись максимального показания по этому прибору, увеличивают уровень входного сигнала и вновь производят подстройку согласующих цепей. Данную операцию повторяют до получения требуемой выходной мощности генератора, после чего снимают все показания приборов. С помощью измерителя частоты проверяют частоту усиливаемого сигнала, по спектр-анализатору – спектр выходного сигнала. В случае самовозбуждения усилителя, признаком которого является наличие в спектре выходного сигнала, помимо гармоник, дополнительных спектральных составляющих, добиваются его устранения путем регулировки элементов схемы.

Регулировка всего передатчика осуществляется после сборки и монтажа всего устройства из каскадов, прошедших регулировку первого уровня. Здесь регулировка сводится к проверке правильности произведенного монтажа и подбору параметров элементов, включаемых на «стыке» соединяемых между собой каскадов. Особой проверке подлежит отсутствие самовозбуждения радиопередатчика, возникающее иногда при совместной работе нескольких ВЧ или СВЧ каскадов.

Проверка производится с помощью спектр-анализатора. При сборке радиопередатчика из одних интегральных микросхем первый этап регулировки из технологического цикла исключается. После окончания процесса регулировки радиопередатчик подвергается испытаниям, состоящим в измерении всех его параметров и характеристик на соответствие технической документации.

На основании требований, предъявляемых к параметрам передатчика, можно составить его структурную схему. Пример схемы передатчика мощностью до 50 Вт приведен на рис. 3.



Рис. 3. Структурная схема передатчика мощностью до 50 Вт

В передатчике осуществляется двухступенчатая модуляция ЧТ– ИМ. Управляет работой передатчика микропроцессор. С его помощью производится:

- автоматическое включение и выключение передатчика;
- выбор частоты несущей передатчика;
- кодирование дискретных и аналоговых сигналов, поступающих с контроллера и компьютера;
- ввод в память информации, формируемой с помощью клавиатуры;
- первая ступень модуляции, состоящая в формировании сигналов поднесущих частот – в присваивании логической 1 частоты  $F_1$ , а логическому 0 – частоты  $F_2$ ;
- контроль за работой всех блоков передатчика;
- управление устройствами электронной защиты

С помощью цифрового синтезатора частот, построенного по схеме с ФАП и делителем с переменным коэффициентом деления (ДПКД), осуществляется:

- формирование рабочей сетки частот с заданным шагом;
- вторая ступень модуляции – частотная модуляция сигналами поднесущих (частоты  $F_1$  и  $F_2$ ) несущей частоты передатчика с девиацией

Сформированный сигнал с двойной ЧМ усиливается сначала предварительным ВЧ усилителем, а затем выходным усилителем мощности ВЧ сигнала – блоком УМ – ВЧ. Предварительный усилитель может представлять собой ВЧ интегральную схему с коэффициентом усиления в 20...30 дБ. На выходе передатчика устанавливается полосовой фильтр, обеспечивающий подавление побочных составляющих до уровня –60 дБ. С помощью модуля индикации – символьного цифробуквенного индикатора – осуществляется отображение всей передаваемой информации и выполняемых операций.

Системы радиосвязи декаметрового диапазона, использующие распространение радиоволн по искривленному лучу, огибающему Землю, оказываются в ряде случаев более экономичными по сравнению с СВЧ системами, работающими по принципу прямого луча. Эта экономия основана на том, что для получения одной и той же дальности линии радиосвязи в первом случае требуется меньшее число и более простые по устройству пункты связи.

### Вопросы для самоконтроля

1. Какие критерии используются при оценке уровня электромагнитных излучений, действующих на человека?
2. Перечислите основные параметры радиопередатчиков и приборы по их измерению.
3. В чем состоит сущность регулировки на уровне блоков и устройства?
4. Каким видам испытаний могут подвергаться радиопередатчики?
5. Зачем проводят длительные испытания радиоаппаратуры?
6. Какую роль выполняет микропроцессор в радиопередатчике?

## **Методика проведения лабораторных работ.**

При выполнении лабораторной работы каждого студента нужно обеспечить программным и теоретическим материалом, инструкцией к работе, где надо отразить, порядок и шаблон выполнения лабораторных работ, описанием работ. Текст задания лабораторных работ записывается в печатных документах, специализированных плакатах и методичках или в документе формата .pdf или .doc, открыв который студент найдёт для себя описание работы, вариант, инструкцию и другие необходимые материалы к данной работ.

В соответствии с учебно-методическими указаниями методика выполнения каждой лабораторной работы включает в себя следующие этапы:

1. Вводное слово преподавателя, в котором описывается порядок выполнения работы и обращается особое внимание на некоторые детали;

2. Самостоятельная подготовка к работе, в процессе которой студенты обязаны:

- уяснить цель и порядок выполнения лабораторной работы;
- изучить или повторить основные теоретические положения по изучаемой теме, для чего использовать конспект лекций, теоретические данные в тексте лабораторной, а также рекомендованные преподавателем учебные пособия. Качество своей подготовки можно оценить с помощью контрольных вопросов, приведённых в методическом указании к лабораторной работе;
- подготовить отчёт, форма которого дана в методическом указании.

3. Получение допуска на выполнение лабораторной работы. Допуск к лабораторной работе проводится преподавателем индивидуально с персональным опросом каждого студента. Для допуска:

-каждый студент предварительно оформляет свой персональный конспект данной лабораторной работы в рабочей тетради, учитывая соответствующие требования;

-преподаватель индивидуально проверяет оформление конспекта и задает вопросы по теории и методике выполнения заданий;

- студент устно отвечает на заданные вопросы;

- в случае готовности студента к работе преподаватель допускает его к работе и ставит свою подпись в конспекте у студента (графа Допуск в таблице на обложке). Студент, не подготовленный теоретически или не имеющий подготовленного шаблона отчета, к выполнению работы не допускается

4. Конспект для допуска к лабораторной работе готовится заранее в рабочей тетради.

5. Выполнение задания, номер варианта которого определяется преподавателем, в лаборатории с использованием автоматизированных рабочих мест.

6. Оформление лабораторной работы к зачету. Полностью оформленная и подготовленная к зачету работа должна соответствовать следующим требованиям:

- выполнение всех пунктов раздела «Задания» лабораторной работы;
- записаны ответы по установленной форме;

7. Получение зачета у преподавателя. После завершения работы отчет и выполненные практические задания предъявляются для проверки преподавателю, который своей подписью удостоверяет правильность результатов.

### **При подготовке к работе учащийся должен:**

1. Ознакомиться с содержанием работы и изучить теоретические положения, на которых данная работа базируется.

2. Продумать методику снятия зависимостей, указанных в описании. Следует внимательно проследить по схеме, каким образом будет изменяться исходная величина, как она регулируется, и каким образом будет отсчитываться исследуемая величина.

3. Ознакомиться с исследуемым полупроводниковым прибором.

### **При выполнении работы учащийся обязан:**

1. Познакомиться с рабочим местом, установить наличие необходимой аппаратуры, соединительных проводов, источников питания и вспомогательных приборов.

2. Выбрать соответствующую измерительную аппаратуру, определить пределы измерения, используя справочные материалы, издания на исследование.

3. Самостоятельно определить число отсчетов, необходимых для правильного воспроизведения исследуемой зависимости. На тех участках, где исследуемая величина резко

изменяется или ее изменение соответствует особой точке (максимум, минимум, перегиб и т.д.), надо брать от точки отсчета чаще, чем на тех участках, где исследуемая величина изменяется мало.

4. Собрать электрическую схему исследования. В процессе выполнения лабораторной работы учащийся должен произвести записи, проанализировать их и предоставить на проверку преподавателю.

5. К следующей лабораторной работе каждому учащемуся необходимо предоставить отчет по предыдущей работе, выполненный на специальном бланке. Отчет по работе аккуратно оформляется. Схемы вычерчиваются в соответствии с ЕСКД, графики выполняются на миллиметровой бумаге, на графике наносятся экспериментальные точки, по ним проводится плавная кривая.

6. Полученные зависимости необходимо сравнить со справочными и сделать необходимые выводы и расчеты по проделанной работе.

#### **Содержание отчета по лабораторной работе**

1. Фамилия и инициалы учащегося, номер группы и дата выполнения работы.
2. Наименование работы.
3. Содержание работы.
4. Электрические схемы исследования.
5. Описание конструкции исследуемого полупроводникового прибора.
6. Основные паспортные данные прибора.
7. Результаты измерений (в виде таблиц).
8. Графические зависимости и осциллограммы на миллиметровой бумаге.
9. Сопутствующие измерениям расчеты.
10. Перечень измерительной аппаратуры с указанием типа прибора, его заводского номера, предела измерения, цены деления.
11. Краткие выводы по проделанной работе.