*Раздел* 4. Передающая часть телеметрических систем

Лекция 9

Передача телеметрической информации

1.Условия передачи телеметрической информации.

2.Типовые схемы телеметрических систем.

3.Структурные схемы и задачи, решаемые одноканальными и многоканальными телеметрическими системами.

4.Одноканальные и многоканальные радиопередатчики.

5.Симметричное отведение сигнала и многоканальное отведение сигнала.

**1. Условия передачи телеметрической информации**

Перечислим некоторые важные факторы, которые следует учитывать при передаче телеметрической информации:

1.*Сложность телеметрической системы*. Сложность системы зависит от числа компонент и типа используемых датчиков. С точки зрения простоты и надежности работы более приемлемы системы с наименьшим числом компонент.

2.*Необходимая входная мощность*. Суммарная входная мощность телеметрической системы определяется мощностью, необходимой для датчиков, для кодирующего устройства и для передатчика. При этом наибольшая часть входной мощности телеметрической системы поглощается в радиопередатчике.

3.*Типы используемых датчиков*. В каждом конкретном случае телеметрическая система должна быть согласована с применяемым датчиком.

4.*Число каналов передачи информации*.

5.*Требования к точности в каждом канале*.

6.*Требуемая частотная характеристика системы передачи данных*.

7.*Общая ширина полосы системы, доступная для передачи*.

8.*Совместимость с существующими системами переработки данных*.

**2. Типовые схемы телеметрических систем**

Схемы телеметрических систем зависят от видов модуляции. Наиболее распространены виды модуляции: АМ-ЧМ и ЧМ-ЧМ. Первые две буквы обозначают вид модуляции поднесущей, вторые две буквы – вид модуляции несущей.

Типы телеметрических систем различают по способу уплотнения. Известны два типа по уплотнению:

1.Частотное уплотнение.

2.Временное уплотнение.

Приведем список систем по способам уплотнения:

1.Частотное уплотнение:

АМ-ЧМ

ЧМ-ЧМ

ЧМ-АМ

ЧМ-ФМ

АМ-ФМ

АМ-АМ.

2.Временное уплотнение:

ФИМ-АМ

КИМ-ЧМ

КИМ-ФМ

КИМ-АМ

АИМ-ЧМ

ДИМ-ЧМ

ДИМ-ФМ

ДИМ-АМ

АИМ-ФМ

АИМ-АМ.

**3. Структурные схемы и задачи, решаемые одноканальными и многоканальными телеметрическими системами**

В качестве примера рассмотрим блок-схему радиотелеметрической системы с частотным разделением каналов.



Рис.1. Блок-схема передающей части радиотелеметрической системы с частотным разделением каналов:

*S*1, *S*2, …, *Sn*– сообщения;

Д1, Д2, …, Д*n* – датчики;

ГП1, ГП2, …, ГП*n* – генераторы поднесущих;

Ф1, Ф2, …, Ф*n* – фильтры

На рис. 2 приведена блок-схема приемной части радиотелеметрической системы с частотным разделением каналов.



Рис. 2. Блок-схема приемной части радиотелеметрической системы с частотным разделением каналов:

РФ1, РФ2, …, РФ*n* – разделительные фильтры;

Дем1, Дем2, …, Дем*n* – демодуляторы поднесущих;

Рег. устр-во – регистрирующее устройство

**4. Одноканальные и многоканальные радиопередатчики**

**4.1. Определение и классификация**

***Радиопередатчик*** – это устройство (или комплекс устройств), служащее для получения модулированных электрических колебаний в диапазонах радиочастот с целью их последующего излучения *(антенной)* в виде электромагнитных волн.

Радиопередатчик– важнейшая составная часть телеметрических систем и устройств передачи информации посредством радиоволн, а также систем и устройств, применяемых в радиосвязи, телевидении, радиовещании, радиолокации, радионавигации, других отраслях техники и научных экспериментах.

Радиопередатчики различают:

1.По диапазону рабочих волн.

2.Мощности колебаний, подводимых к антенне:

 (до 100 Вт – маломощные, от 100 Вт до 10 кВт – средней мощности, от 10 кВт до 1 МВт – мощные и св. 1 МВт – сверхмощные),

3.Роду работы (телеграфные, телефонные и др.).

4.Способу модуляции (с амплитудной, частотной, фазовой или др. модуляцией).

5.Типу генераторных электронных приборов (ламповые, транзисторные, магнетронные, клистронные и т.п.).

6.Назначению (связные, вещательные, локационные, телевизионные и т. п.),

7.Мобильности (стационарные, передвижные).

8.Числу каскадов (однокаскадные, многокаскадные).

9.Числу каналов (одноканальные, многоканальные).

Простейший (однокаскадный) радиопередатчик содержит генератор с самовозбуждением, преобразующий энергию постоянного (реже переменного) тока в энергию радиочастотных колебаний (см. *Генерирование электрических колебаний),* и *модулятор,* а также источник электропитания.

Однако радиопередатчики, работающие в диапазонах дециметровых и более длинных волн (особенно радиопередатчики средней и большой мощности), обычно состоят из нескольких каскадов, выполняющих различные функции. Многокаскадность радиопередатчика вызвана главным образом требованием получения достаточно мощных колебаний с высокой стабильностью несущей частоты (допустимый уход частоты обычно лежит в пределах 10–6-10–9).

Применение различных методов *стабилизации частоты* обычно позволяет получать достаточно стабильные колебания лишь в маломощном генераторе с самовозбуждением (называемым *задающим генератором),* работающим на частоте, как правило, более низкой, чем рабочая частота радиопередатчика. Тогда в последующих каскадах радиопередатчика *(умножителях частоты)* производится её умножение.

При особо высоких требованиях к стабильности частоты сразу после задающего генератора ставят буферный каскад, защищающий задающий генератор от обратного воздействия последующих, более мощных каскадов радиопередатчика.

Для увеличения мощности колебаний применяют каскад (или каскады) предварительного усиления напряжения и мощности колебаний, который возбуждает выходной мощный каскад радиопередатчика, называемый генератором с независимым возбуждением. Изменением того или иного параметра радиопередатчика осуществляют *модуляцию колебаний* радиочастоты. Модулированные колебания через цепи связи передаются в антенну, кабельную или проводную линии связи.

**4.1. Одноканальные и многоканальные передатчики**

При многоканальной передаче сигнала задача кодирования и разделения сигналов связана с числом передаваемых параметров *n*. Каждый параметр модулирует свой переносчик так, что образуется отдельный сигнал. Далее формируется многоканальный сигнал, как сумма этих отдельных сигналов.

Для этого в радиолиниях с частотным разделением каналов каждому каналу отводится своя поднесущая частота (см. практическое занятие).

**5. Симметричное отведение сигнала и многоканальное отведение сигнала**

*Симметричное отведение сигнала* осуществляется с использованием усилителя, в котором предусмотрено подавлением синфазных помех.



Рис.2. Эквивалентная схема симметричного отведения сигнала:

*Ес* – ЭДС источника сигналов;

*Rс* – внутреннее сопротивление источника сигналов;

*Rп* – переходное сопротивление.

Целью использования усилителя является осуществление предварительного усиления сигнала для последующей его подачи на регистратор с дискриминатором помех 50 Гц.

Первые каскады усилителя выполняются на эмиттер-повторителях. Защита усилителей от высокочастотных помех осуществлена сразу на входе с помощью цепей R1C2 и др.

Усиленный сигнал снимается с потенциометров и далее подается на регистратор с симметричным входом.

*Для многоканальных биотелеметрических систем* следует учитывать то обстоятельство, что приходится одновременно отводить сигналы от многих источников. При этом может быть использовании множество датчиков.

Размещение датчиков не может выбираться произвольно, так как наибольшая величина напряжения от каждого из источников полезного сигнала и наименьшие помехи от других источников будут получаться только при некотором благоприятном расположении датчиков.

Следовательно, возникает задача оптимального размещения датчиков. Здесь понятие «оптимальности» должно включать в себя учет величины помех от взаимного влияния датчиков друг на друга.

С учетом сказанного, схема взаимосвязи между усилителями сигналов при многоканальном отведении будет выглядеть следующим образом (рис.2).



Рис.3. Схема взаимосвязи между усилителями сигналов при многоканальном отведении

Отведение биопотенциалов от различных источников осуществляется при помощи нескольких усилителей.

При многоканальной телеметрической системе для получения возможности последующего разделения сигналов используют поднесущие частоты, которые модулируют по частоте усиленным сигналом.

Итак, генераторы поднесущей частоты применяются в следующих целях:

1.Для снижения уровня шумов от датчика.

2.Для усиления сигналов и компактности усилителя.

Лекция 10

Усиление и модуляция сигналов

1. Общие понятия об усилителях и классификация усилителей.

2. Входные цепи подключения измерительных преобразователей.

3. Усилитель на основе электронной лампы и полупроводниковых приборов.

4. Модуляция несущей частоты и общие понятия модуляции сигналов.

5. Виды модуляции и критерии выбора типа модуляции.

**1.** **Общие понятия об усилителях и классификация усилителей**

*Усилители* – устройства, предназначенные для увеличения (усиления) напряжения или мощности сигнала до заданного уровня (до уровня, который требуется для нормальной работы других устройств, подключаемых к выходу усилителя).

Условие усиления может выполняться только за счет какого-то постороннего источника (источника питания). С помощью активных (усилительных) элементов энергия источника питания преобразуется в энергию выходного сигнала. Поскольку этим процессов управляет источник входного сигнала, то входную мощность называют *управляющей*, а поступающую от источника питания мощность – *управляемой*.

В общем случае усилитель состоит из нескольких *каскадов* (каскад – усилительный элемент со всеми служебными устройствами. Первый каскад возбуждается от источника входного сигнала через входную цепь, второй каскад возбуждается от первого и так далее. Нагрузка подсоединяется к выходу последнего (оконечного) каскада через выходную цепь (рис.1).



Рис.1. Усилитель, состоящий из нескольких каскадов

*Усилители классифицируются*:

1.По типу используемого активного элемента (ламповые, транзисторные, магнитные, диэлектрические и др.).

2.По частоте усиливаемых сигналов (усилители низкой частоты – УНЧ, усилители высокой частоты – УВЧ и др.).

3.По типу входного сигнала (усилители непрерывных колебаний, импульсные усилители).

4.По типу выходного сигнала (усилители напряжения, усилители тока, усилители мощности).

5.По характеристикам.

К основным *характеристикам* усилителя относятся:

1.Амплитудно-частотная характеристика (АХЧ).

2.Фазо-частотная характеристика (ФХЧ).

3.Коэффициент усиления.

4.Коэффициент нелинейных искажений.

**2.** **Входные цепи подключения измерительных преобразователей**

После снятия при помощи датчиков изучаемых параметров полученные сигналы целесообразно усиливать, для чего и используются усилители. Схема входной цепи усилителя сигналов представлена на рис.2 ([1\*], стр.14).



Рис.2.Схема входной цепи усилителя сигналов:

*Ес* – ЭДС источника сигналов;

*Rс* – внутреннее сопротивление источника сигналов;

*Rп* – переходное сопротивление;

*Ср* – разделительная емкость; *Rвх* – входное сопротивление усилителя

Коэффициент передачи потенциала сигналов на вход усилителя определяется из выражения ([1\*], стр.14)

,

где *Uвх* – напряжение на входе усилителя; *Ес* – ЭДС источника сигналов; *Rвх* – входное сопротивление усилителя; *Rс* – внутреннее сопротивление источника сигналов; *Rп* – переходное сопротивление.

В передающей части телеметрических ситем находят применение усилители с асимметричным и симметричным входом.

*Усилитель с асимметричным входом* – усилитель, в котором сигнал отводится от объекта 2 проводами (монополярно).

*В усилителях с симметричным входом* сигнал с обоих датчиков подается относительно нейтральной точки (биполярно), потенциал которого принимается за нуль.

**3.** **Усилитель на основе электронной лампы и полупроводниковых приборов**

**3.1. Усилитель на основе электронной лампы**

В качестве наглядного примера использования вакуумного триода для усиления сигналов рассмотрим усилитель, построенный на вакуумном триоде ([19\*], стр.132-133). На рис.3 представлен один каскад усилителя.



Рис.3. Схема лампового усилителя низкой частоты

Цепочки *С1* и *R1* являются входными цепями каскада и определяют напряжение смещения активного элемента (в данном случае, электронной лампы).

Главной составной частью усилителя является трехэлектродная электронная лампа – триод. От отрицательного полюса источника ток электронов течет через сопротивление *R2* к катоду, а далее от катода к аноду и через анодную нагрузку (сопротивление *Rа*) к положительному полюсу источника (анодный ток).

Емкость конденсатора *С2* настолько велика, что напряжение на сопротивлении *R2* остается примерно постоянным, несмотря на колебания анодного тока. При увеличении анодного тока конденсатор *С2* берет на себя часть тока (дополнительно заряжается). При уменьшении анодного тока он разряжается через сопротивление *R2*.

В результате потенциал верхней точки сопротивления *R2* всегда на определенную величину *Uос* выше потенциала нижней точки.

Но верхняя точка соединена с катодом, а нижняя точка через сопротивление *R1* – с сеткой триода. Из-за наличия сопротивления *R2* сетка триода всегда имеет более низкий потенциал, чем катод.

На это постоянное (отрицательное) напряжение накладывается слабое переменное напряжение *Uс* сигнала усиливаемого сигнала. Оно появляется на сопротивления *R1*, так как по нему протекает слабый переменный ток.

Конденсатор *С1* очень большой емкости пропускает переменный ток звуковой частоты, но является непреодолимым препятствием для постоянной составляющей тока.

Суть усиления состоит в том, что малые колебания напряжения на сетке вызывают некоторые колебания тока в анодной цепи, которым соответствуют большие колебания напряжения *ua* на анодной нагрузке, так как сопротивление *Rа* весьма велико:

,

где *ua* – напряжения на анодной нагрузке; *ia* – анодный ток; *Rа* – сопротивление анодной нагрузки.

Выходной сигнал снимается с *Rа*.

**3.2. Транзисторный усилитель**

На рис.4а представлен один каскад усилителя на транзисторе.



Рис.4а. Каскад усилителя на транзисторе *с общим эмиттером*

Элементы *Rэ* и *Сэ* предназначены для получения автоматического смещения в цепи эмиттера. Цепочки *С1* и *R1* являются входными цепями каскада и определяют напряжение смещения активного элемента (в данном случае, транзистора).

Выходной сигнал снимается с *Rк*.

Так как транзистор (***в зависимости от того, какой электрод транзистора является общим для входного и выходного сигналов***) имеет три основные схемы включения, то и каскады транзисторных усилителей могут строится тремя способами. Нами был рассмотрен каскад *с общим эмиттером*.

Приведем схему каскада *с общей базой* (рис.4б).



Приведем схему каскада *с общим коллектором* (рис.4в).



Рассмотренные усилители электрических сигналов, в которых нагрузкой активного элемента (электронной лампы, транзистора) служит резистор, называются *резистивными* (резисторными) [от англ. Resistive – относящийся к сопротивлению].

**3.3. Пример усилителя низкой частоты с использованием микросхем**

Усилитель может быть многокаскадным. Усилитель может быть двухтактным. Усилитель может быть собран на микросхемах. Все эти моменты отражены в четырехкаскадном УНЧ с двухтактным выходом, приводимом в качестве примера (рис.5).

***Описание не рассказывать, раздать студентам только распечатанную схему*** (http://www.cqham.ru/nf2.htm).

(*Дополнительный материал для сведения*.

Усилитель обладает высокими параметрами и преподносится разработчиками как обладающий качественным преимуществом перед известными схемами УНЧ, собранных на транзисторах и микросхемах (например, с использованием микросхем К174УН7, К174УН14 и др.).

Не исключено применение УНЧ в телеметрической системе, однако входное напряжение низкой частоты в этом случае должно быть не менее 50 мВ. Входной сигнал снимается с несимметричного низкоомного выхода с сопротивлением 50-100 Ом или с симметричного выхода 600 Ом).



Схема представляет собой четырехкаскадный усилитель с двухтактным выходом. Нагрузка включается без выходного трансформатора через разделительную емкость С6 100мк (исключающую протекание постоянного тока по обмотке громкоговорителя).

Для получения противофазного напряжения раскачки выходного каскада в предварительном каскаде использованы транзисторы с различной проводимостью. Для снижения коэффициента нелинейных искажений усилитель охвачен глубокой отрицательной обратной связью, напряжение которой через резистор R6 10к подается на базу транзистора VT2 работающего в дифференциальном каскаде. База транзистора VT1 с помощью делителя R1-R2 соединена с искусственной средней точкой источника питания.

Таким образом, в дифференциальном каскаде сравнивается потенциал на выходе усилителя с потенциалом искусственной средней точки источника питания. Если постоянное напряжение на выходе усилителя становится отличным от половины напряжения питания, то на выходе дифференциального усилителя появится сигнал, который усиливается последующим каскадом и подается в противофазе на выход усилителя.

(Вместо диодов VD1 и VD2 Д223 без ухудшения качества можно применить КД103А (2Д103А). Все резисторы, применяемые в усилителе мощностью 0,25 ватта, разброс по номиналу ±10%. Исключением являются R15 и R16 которые 0,5 Вт и имеют разброс ±5% от своего номинала. Резистор R1 следует подобрать по симметрии ограничения. Его номинал 12к однако, иногда необходим его подбор в пределах 8,2к-18к).

Конденсатор С4 0,01мк в коллекторной цепи транзистора VT3 препятствует возбуждению усилителя на высоких частотах. Резистором R9 390 Ом устанавливается начальный ток потребления оконечного каскада усилителя.

Усилитель развивает 3 вольта на нагрузке 8 Ом на частоте сигнала 1000 Гц и входном напряжении 0,3 В. Неравномерность частотной характеристики в полосе частот 300 - 3500 Гц не превышает ±4 дБ относительно уровня на частоте 1000 Гц. Уровень шумов и фона на выходе усилителя не превышает минус 60 дБ при закороченном входе (3 мВ на нагрузке 8 Ом).

Не следует отказываться от входного трансформатора, т.к. он служит для согласования, делая *Rвх* усилителя низкоомным. Независимо симметричен или несимметричен источник НЧ сигнала, его подают на контакты 1-5 трансформатора ТМ10 - 20.  Возможность применения в качестве Тр1 ТОТ64 показана на схеме.

(Стабилизированный источник питания 24 в можно выполнить по любой другой схеме, однако не следует заземлять какой-либо из его выходных потенциалов. Диоды в источнике питания желательно зашунтировать керамическими конденсаторами 0,01мк, это избавит от так называемого "белого шума " и проблем фона. Потребление тока не превышает 0,5 А).

**4. Модуляция несущей частоты и общие понятия модуляции сигналов**

(См. также А.В.Давыдов. Тема 9 «Модулированные сигналы»).

Как было отмечено ранее, сигналы от измерительных датчиков передаются по линиям связи к приемникам (в системы регистрации, обработки накопления и хранения данных). Как правило, информационные сигналы *являются низкочастотными и ограниченными по ширине спектра*.

Однако в радиотелеметрии для передачи данных используются широкополосные высокочастотные каналы связи, рассчитанные на передачу сигналов от множества источников одновременно с частотным разделением каналов. Поэтому возникает необходимость переноса спектра сигналов из низкочастотной области в выделенную для их передачи область высоких частот.

Перенос спектра сигналов из низкочастотной области в выделенную для их передачи область высоких частот выполняется операцией *модуляции*.

Как выполняется модуляция? Допустим, что низкочастотный сигнал, подлежащий передаче по какому-либо каналу связи, задается функцией *s*(*t*). В канале связи для передачи данного сигнала выделяется определенный диапазон высоких частот. На входе канала связи (в специальном передающем устройстве) формируется вспомогательный (как правило, непрерывный во времени) периодический высокочастотный сигнал *u*(*t*).

Если на один из параметров высокочастотного сигнала *u*(*t*) воздействовать сигналом (перенести на него сигнал) *s*(*t*) и сделать его значение пропорционально зависимым от значения *s*(*t*) во времени (или по любой другой независимой переменной), то форма сигнала *u*(*t*) приобретает новое свойство. Она несет информацию, тождественную информации в сигнале *s*(*t*). (В самих колебаниях с несущей частотой не содержится информации, они лишь «несут» её).

Именно поэтому сигнал *u*(*t*) называют *несущим сигналом, несущим колебанием* или просто *несущей* (carrier), а физический процесс переноса информации на параметры несущего сигнала – его *модуляцией* (modulation).

Частоту гармонических колебаний, подвергаемых модуляции сигналами с целью передачи информации называют *несущей частотой*.

Исходный информационный сигнал *s*(*t*) называют *модулирующим* (modulating signal), результат модуляции – *модулированным сигналом* (modulated signal).

Обратную операцию выделения модулирующего сигнала из модулированного колебания называют *демодуляцией* (demodulation).

**5.** **Виды модуляции и критерии выбора типа модуляции**

Основным видом несущих сигналов являются гармонические колебания:

*u(t)* = *U*⋅cos(ω*t*+ϕ),

которые имеют три свободных параметра: *U* – амплитуду; ω – частоту; ϕ – фазу.

В зависимости от того, на какой из данных параметров переносится информация, различают *амплитудную* (АМ)*, частотную* (ЧМ) *или фазовую* (ФМ) модуляцию несущего сигнала.

Переносчиком информации обычно служат гармонические колебания с частотой (называемой *несущей* или *поднесущей*) ~ 104-1015 Гц.

 

Рис. 1. Схематическое изображение модулированных колебаний:

*а* – немодулированное колебание;

*б –* модулирующий сигнал;

*в –* амплитудно-модулированное колебание;

*г* – частотно-модулированное колебание;

*д –* фазово-модулированное колебание

Частотная и фазовая модуляция тесно взаимосвязаны, поскольку изменяют аргумент функции косинуса, и их обычно объединяют под общим названием – *угловая* модуляция (angle modulation).

В каналах передачи цифровой информации получила также распространение *квадратурная* модуляция, при которой одновременно изменяются амплитуда и фаза несущих колебаний.

При использовании в качестве несущих сигналов *периодических последовательностей импульсов* (например, прямоугольных) свободными параметрами модуляции могут быть амплитуда, длительность, частота следования и фаза (положение импульса относительно тактовой точки) импульсов.

Это дает четыре основных вида импульсной модуляции: АИМ (амплитуда), ДИМ (длительность), ЧИМ (частота следования)и ФИМ (фаза).

В качестве несущих сигналов можно использовать не только периодические колебания, но и стационарные случайные процессы. В качестве модулируемых параметров случайных сигналов используются моменты случайных процессов. Так, например, модуляция второго момента случайных последовательностей (модуляция по мощности) представляет собой аналогию амплитудной модуляции.

Лекция 11

Элементы передатчиков телеметрических систем

1.Устройство и элементы передатчиков телеметрических систем.

2.Генераторы высокой частоты и модуляторы.

3.Сумматоры напряжений модуляторов.

4.Автоматические устройства предварительной обработки информации в передатчике.

5.Типы и конструкции антенн.

**1.** **Устройство и элементы передатчиков телеметрических систем**

В состав передатчиков телеметрических систем входят (см. лек. 2):

– усилители,

– калибраторы,

– сумматоры,

– модулятор,

– генератор поднесущей,

– высокочастотный генератор,

– антенна.

*Усилитель* служит для увеличения (усиления) напряжения или мощности сигнала до заданного уровня.

*Калибратор* служит для выработки стандартного сигнала, с которым будут сопоставляться переданные сигналы.

*Сумматор* служит для сложения всех напряжений поднесущих перед подачей на модулятор передатчика.

*Модулятор* служит для модуляции сигнала (то есть управления параметрами высокочастотного электромагнитного переносчика информации в соответствии с электрическими сигналами передаваемого сообщения).

*Генераторы* служит для создания высокочастотных электромагнитных колебаний.

*Антенна* служит для излучения радиоволн при передаче сообщений.

**2.** **Генераторы высокой частоты и модуляторы**

**2.1. Генераторы высокой частоты и модуляторы на основе вакуумной лампы**

*Генератор* частоты - это автоколебательная система, в которой вырабатываются незатухающиеколебания за счет энергии входящего в его состав источника постоянного напряжения.

В этом отношении они подобны часам, в которых незатухающие колебания маятника поддерживается за счет энергии гири или сжатой пружины.

*Ламповый генератор* содержит колебательный контур, состоящий из катушки с индуктивностью *L* и конденсатора емкости *С* (рис.47) ([19\*], стр.56-58).



Известно, что если конденсатор зарядить, то в контуре возникнут затухающие колебания. Чтобы колебания не затухали, нужно компенсировать потери энергии за каждый период. (Следовательно, энергия от источника постоянного тока должна поступать в контур. Для этого колебания тока в анодной цепи лампы должны происходить в такт со свободными колебаниями в контуре. Надо, чтобы фаза свободных колебаний тока в катушке, индуктивно связанной с сеткой, совпадала с фазой колебаний составляющей тока в анодной цепи, идущей через катушку).

Лампа играет роль клапана, периодически открывающего и закрывающего доступ энергии в контур.

Периодическое изменение анодного тока может быть достигнуто за счет периодического изменения потенциала сетки лампы. Если потенциал сетки отрицателен, то электрическое поле отбрасывает испущенные нагретым катодом электроны назад. Анодный ток сильно уменьшается или падает до нуля (лампа «заперта»). При положительном потенциале сетки лампа «отперта» и ток в нем тем больше, чем выше потенциал сетки.

Для того, чтобы лампа отпиралась и запиралась в нужные моменты времени, колебания в самом контуре должны управлять потенциалом сетки. Необходима «*обратная связь*». Колебания анодного тока должны поддерживать колебания в контуре, а колебания в контуре в свою очередь должны управлять анодным током.

Обратная связь в данном генераторе является индукционной. В цепь сетки включена катушка, индуктивно связанная с катушкой колебательного контура. Вследствие явления электромагнитной индукции колебания тока в контуре вызывают согласованные колебания потенциала сетки.

(При замыкании анодной цепи конденсатор заряжается, и в контуре начинаются колебания. Их амплитуда нарастает до тех пор, пока потери энергии в контуре не будут в точности компенсироваться поступлением энергии от источника.

Частота вырабатываемых колебаний очень близка к собственной частоте контура. Амплитуда же определяется не начальными условиями, как в случае свободных колебаний, а процессами внутри системы. В частности, на величину амплитуды большое влияние оказывает вид сеточной хар-ки триода).

***Модулятор*** в радиотехнике и дальней связи – это устройство, осуществляющее модуляцию, то есть управление параметрами высокочастотного электромагнитного переносчика информации в соответствии с электрическими сигналами передаваемого сообщения. Модулятор является составной частью передающих устройств радиотелеметрических систем. Часто в функцию модулятора входит также и усиление модулирующих колебаний.

Определяющим в модуляторе является управляющий элемент (электронная лампа или транзистор), посредством которого сигнал воздействует на параметры модулируемых колебаний.

 *Электронная лампа* как универсальный управляющий элемент сохранилась главным образом в модуляторах мощных радиопередающих устройств (для них специально разработаны т. н. модуляторные лампы).

*Ламповый модулятор* ([19\*], стр.129). При амплитудной модуляции последовательно с источником постоянного анодного напряжения включается источник переменного напряжения низкой частоты. В результате амплитуда колебаний в колебательном контуре генератора будет изменяться в такт с изменениями анодного напряжения. (Модулированные колебания можно наблюдать на экране осциллографа).



**2.2. Транзисторные генераторы высокой частоты и модуляторы**

При мощностях передатчиков ≤ 0,5 *квт* электронные лампы успешно вытесняются транзисторами и другими полупроводниковыми приборами.

 *Транзисторные генераторы* высоких частот (в том числе, поднесущей частоты) представляют собой мультивибраторы, работающие на частотах 1 – 50 кГц. Для технических радиотелеметрических систем частота генераторов поднесущих частот может быть выбрана существенно выше.

В качестве модулятора можно использовать непосредственно мультивибратор (МВ). На рис.1. приведена схема такого мультивибратора-модулятора с управляемой частотой.



##### Рис.1.Схема мультивибратора-модулятора с управляемой частотой

Изменяя в симметричном МВ сопротивление *Rпер* мы синхронно изменяем суммарное значение сопротивления базовых резисторов (Rб1 + Rпер) и (Rб2 + Rпер) и таким образом синхронно управляем длительностями импульсов при сохранении скважности 2. Воспользовавшись этой возможностью МВ, можно построить следующую схему модулятора.





Если в статическом режиме ступенчато изменять напряжение *Uк* на коллекторе с помощью Rрег, то частота МВ будет изменяться и кривая зависимости *F* от *Uк* будет выглядеть примерно следующим образом.



Данная кривая называется *модуляционной хар-кой*.

Модуляционная хар-ка характеризуется крутизной *S*:

.

**2.3. Транзисторные амплитудные модуляторы**

(Сайт: cultinfo.ru/fulltext/1/001/008/077/435.htm).

*Распечатать как раздаточный материал!*



Рис.1. Транзисторные амплитудные модуляторы:

.а – базовый; б – коллекторный;

.*u*ВЧ – напряжение модулируемых колебаний:

Tp – низкочастотный трансформатор;

C1, С2, L1 – конденсаторы и катушка индуктивности развязывающих цепей по высоким и низким частотам;

R и R1 – резисторы делителя постоянного напряжения в цепи питания транзистора;

ЕК – напряжение, подаваемое на коллектор транзистора.

Транзистор Т с резонансным контуром из катушки индуктивности L и конденсатора С образуют управляемый усилитель колебаний с несущей частотой, коэффициент усиления которого изменяется при изменении uM.

При *импульсной* модуляции в модуляторах управляющими элементами также служат электронная лампа или полупроводниковый прибор (например, варикап), который запирает или отпирает волноводный тракт при посылках импульсного модулирующего напряжения различного знака.

**3.** **Сумматоры напряжений модуляторов**

Поскольку по телеметрической системе осуществляется передача нескольких параметров, то используется несколько поднесущих генераторов, сигналы которых требуется сложить для дальнейшей передачи по телеметрической системе. Для сложения сигналов используются сумматоры напряжений (Тепляков, стр.28-29).

Сумматоры в зависимости от частот тока, силы тока могут быть *пассивные* (резистивные и индуктивные) и *активные*, то есть с одновременным усилением суммируемых сигналов.

***Требования к суммируемым устройствам.***

1.При сложении напряжений поднесущих генераторов не должно быть искажения формы суммарного сигнала.

2.Входные сопротивления суммирующих устройств должны быть существенно больше сопротивлений источников напряжений, а выходное значительно меньше нагрузки, т.е.входного сопротивления последующей цепи. Это является классическим требованием при согласовании разных каскадов и устройств.

3.Амплитуда суммарного сигнала должна быть достаточной для получения требуемого уровня девиации несущей частоты.

Схема пассивного сумматора на резисторах



1.*Rвх* >> *Rисточ*.

2.*Rвых* << *Rнагрузки*.

Первое условие обеспечить сложно, поэтому используют активный сумматор.

Схема простого активного сумматора



Активные сумматоры позволяют обеспечить лучшую развязку от источника сигнала, между источниками и малое входное сопротивление при более высоком уровне сигнала. Однако такой сумматор усложняет конструкцию ПРД.

**4.** **Автоматические устройства предварительной обработки информации в передатчике**

Исследовательская деятельность во многом зависит от своевременного получения, быстрой и полноценной обработки объективной и точной информации о составе и строении веществ, структуре и свойствах материалов, энергетических параметрах процессов.

Потребность в автоматизации обработки данных, в т.ч. вычислений, возникла очень давно.

Датчики (первичные преобразователи) по сути выполняют функции автоматического извлечения и предварительной обработки информации. Они представляют собой весьма разнообразные по принципам действия устройства, воспринимающие изменения контролируемых параметров различных процессов.

Современная измерительная техника может непосредственно оценивать более 300 различных величин, хотя этого для полной автоматизации обработки информации бывает недостаточно.

Экономически целесообразное расширение номенклатуры датчиков достигается унификацией чувствительных элементов. Чувствительные элементы, реагирующие на давление, силу, вес, скорость, ускорение, звук, свет, тепловое и радиоактивное излучения, применяются в датчиках для контроля загрузки оборудования и его рабочих режимов, качества обработки, учёта выпуска изделий, контроля за их перемещениями на конвейерах, запасами и расходом материалов, заготовок, инструмента и др. Выходные сигналы всех этих датчиков преобразуются в стандартные электрические или пневматические сигналы, которые передаются другим устройствам.

К устройствам для логической и математической обработки информации относятся функциональные преобразователи, изменяющие характер, форму или сочетание сигналов информации, а также устройства для переработки информации по заданным алгоритмам (в т.ч. вычислит, машины) с целью осуществления обработки информации или обеспечения режимов управления и регулирования.

Кроме того, в течение испытаний в результате изменения окружающих условий, изменения напряжения источников питания и т.д.происходит дрейф нуля датчиков и изменений передачи передающего тракта. В процессе испытаний возможна автоматическая коррекция нуля с одновременной предварительной обработкой передаваемых сигналов.

Автоматическая коррекция нуля производится посредством сравнения напряжения сигнала, передающего нулевой уровень, с эталонным сигналом, принимаемым за нулевой уровень сигнала на выходе.

**5.** **Типы и конструкции антенн**

**5.1.** **Типы антенн**

***Антенна*** – **это** устройство для излучения и приёма радиоволн.

Следовательно, имеются два типа антенн:

- передающая;

- приёмная.

 *Передающая антенна* преобразует энергию электромагнитных колебаний высокой частоты, сосредоточенную в выходных колебательных цепях радиопередатчика, в энергию излучаемых радиоволн.

*Приёмная антенна* выполняет обратную функцию – преобразование энергии распространяющихся радиоволн в энергию, сосредоточенную во входных колебательных цепях приёмника.

Формы, размеры и конструкции антенн разнообразны и зависят от длины излучаемых или принимаемых волн и назначения антенн.

Для того чтобы антенна была эффективна, ее размеры должны быть сравнимы с длиной передаваемой волны. Чем шире динамический диапазон передаваемых частот, тем труднее сделать антенну, пригодную для решения этой задачи. Именно по этой причине для передачи используются частоты, начиная с многих сотен килогерц и выше (длина волн сотни метров и меньше).

У большинства передающих антенн интенсивность излучения зависит от направления или, то есть антенна обладает направленностью излучения. Это свойство антенны графически изображается диаграммой направленности.

*Диаграмма направленности* показывает зависимость от направления напряжённости электрического поля излученной волны (измеренной на большом и одинаковом расстоянии от антенны).

Для количественной оценки эквивалентного выигрыша в излучаемой мощности введено понятие *коэффициента направленного действия* (КНД), показывающего, во сколько раз нужно увеличить мощность излучения при замене данной реальной антенны гипотетической ненаправленной антенной (*изотропным излучателем*), чтобы напряжённость электромагнитного поля осталась неизменной.

Первая практическая антенна в виде несимметричного вибратора была предложена изобретателем радио А.С.Поповым в 1895 году. Несимметричный (относительно точки подвода энергии) вибратор представляет собой длинный вертикальный провод, между нижним концом которого и заземлением включается передатчик или приёмник.

Рассмотрим конструкции некоторых антенн.

**5.1.** **Штыревая антенна**

Общий вид антенны показан на рис. 12.4. Здесь 1 – штырь, изготовленный из упругой, т.н. рояльной стальной проволоки диаметром 2...2.4 мм, 2 – устройство настройки и согласования, 3 – штекер, соответствующий антенному гнезду радиостанции.



Си-Би (СВ - citizen band) означает диапазон гражданской связи.

**5.2.** **Вертикальная колинеарная антенна**

Антенна работает в диапазоне частот 144...146 Мгц. Она состоит из четырех полуволновых вибраторов: верхнего, изготовленного из дюралюминиевой трубки диаметром 10 мм, и трех нижних - включенных последовательно отрезков коаксиального кабеля (рис. 12.6).



**5.3.** **УКВ антенна с вертикальной поляризацией** (Радио, 1980, 3, с.58)

Диапазон частот - 144...146 МГц. Антенна представляет собой 4-элементный волновой канал, полуволновый вибратор которого возбуждается через J-согласователь (рис. 12.7). Такой способ возбуждения и согласования позволяет использовать верхнюю часть сплошной металлической мачты в качестве вибратора и части U-колена. Немалое удобство J-согласования состоит и в том, что высокое входное сопротивление полуволнового вибратора (он возбуждается в пучности напряжения) приводится к волновому сопротивлению кабеля простым перемещением места его подключения к U-колену. С заземленной мачтой антенна становится и грозозащищенной.

Вибратор антенны выполнен из дюралюминиевой трубки диаметром 12 мм (это конец мачты). Директоры и рефлектор изготавливают из трубки диаметром 6 мм. Несущая траверса – фиберглассовая или стеклотекстолитовая трубка диаметром 10...12 мм. Для лучшей фиксации траверсу можно подтянуть к верхней точке мачты леской диаметром 0,8...1 мм (показана пунктиром).

**5.4.** **Компактная KB антенна** (Радио, 1984, 4, с.58)

Представляет собой одновитковую рамку (рис. 12. 9), способную работать на прием и передачу в диапазоне частот 3,5... 15 МГц.

Сама рамка выполнена из медной трубки диаметром 25 мм. Петлю связи изготавливают из 50-омного коаксиального кабеля (он же - фидер антенны) и прикрепляют непосредственно к рамке в верхнем ее углу.



**5.5.** **Всеволновая антенна** (КВ журнал, 1995, 2, с. 19-20)

Антенна T2FD (Top Termianated Folded Dipole), показанная на рис. 12.11, может работать в широком диапазоне частот. Это петлевой вибратор треугольной формы с встроенным в верхнюю его часть активным сопротивлением-нагрузкой. Антенна отличается небольшими размерами и значительной широкополосностью.

Основание петли - нижняя часть вибратора - составлено из труб, закрепленных хомутами на стеклотекстолитовой пластине. Две другие стороны треугольника, его верхняя часть, проволочные, они соединяют концы труб с нагрузочным резистором Rн = 500 Ом, находящимся в герметичном боксе.



**5.6.** **Антенна на 28 и 144 МГц** (Радио, 1975, 4, с. 31)

Основные размеры антенны, работающей в диапазоне 144 МГц, показаны на рис. 12.17. *Вибратор*, *рефлектор* и *директоры* изготавливают из латунных или медных трубок. Размеры U-колена, связывающего симметричную антенну с несимметричным фидером - 75-омным коаксиальным кабелем - показаны на рис. 12.18.



Конструкции и важнейшие параметры различных антенн также будут дополнительно рассмотрены на практическом занятии.

**5.7.** **Перспективы развития антенн**

В 1960-е годы наметился ряд перспективных направлений развития теории и техники антенн. Наиболее важные из них:

1) Создание антенных решёток из большого числа излучающих элементов (электрических вибраторов, рупоров идр.), каждый изкоторых подведён котдельному выходному блоку передатчика, имеющему регулируемый фазовращатель. Управляя соотношением фаз полей в отдельных излучающих элементах, можно быстро менять направление максимального излучения, а также форму диаграммы направленности антенны. Идентичным образом создаются приёмные антенные решётки из большого числа слабонаправленных антенн, подключаемых к отдельным входным блокам приёмника.

2) Создание антенн, основанных на методе апертурного синтеза, заключающегося, в частности, в перемещении одной или нескольких небольших по размерам антенн с последовательной фиксацией в запоминающем устройстве амплитуды и фазы принятых сигналов. Соответствующим суммированием этих сигналов можно получить такой же эффект, как от большой антенныс линейными размерами, равными длинам путей перемещения малых антенн.

3) Создание экономичных, легко устанавливаемых антенн (зеркальных антенн, антенн-башен и антенн-мачт идр.**)** на основе использования металлизированных плёнок, с применением пневматики для придания антеннамнеобходимой конфигурации.

4) Широкое внедрение строгих методов анализа и синтеза (проектирование по заданным характеристикам) антенн на основе применения электронных вычислительны машин.

5) Развитие статистических методов анализа антенн.

Лекция 12

Приемная часть телеметрических систем

1.Требования, предъявляемые к приемникам телеметрических систем.

2.Общие сведения об устройстве приемников телеметрических систем.

3.Типовые структурные схемы приемной части телеметрических систем.

4.Демодуляция.

**1.** **Требования, предъявляемые к приемникам телеметрических систем**

В отличие от радиовещательных радиоприемников при проектировании приемника радиотелеметрической системы наибольшее внимание заслуживают две основные задачи ([1], стр.202):

1. Достижение возможно большой чувствительности, так как от нее зависит дальность передачи информации.

2. Восстановление принятых сигналов до их первоначальной формы с минимальными искажениями (особенно в многоканальных телеметрических системах, так как необходимо учитывать помехи из-за воздействия канала на канал в приемнике).

Основные три показатели работы радиоприемника:

1. Чувствительность – способность принимать слабые радиосигналы (мощностью вплоть до 10-19 Втпри ширине частотного спектра сигнала ~ 1 кГц);

2. Селективность – способность отделять полезный сигнал от посторонних радиочастотных колебаний (радиопомех), ослабляя их в несколько тыс. раз (см. *Селективность радиоприёмника*).

3. Стабильность – способность обеспечивать достаточно длительный радиоприём без к.-л. дополнительных ручных операций, напр. регулировки, переключений и пр. (см. *Стабилизация частоты*).

Практически реализуемая чувствительность радиоприемника зависит от *помех радиоприёму,* которые, если они действуют в той же полосе частот, что и принимаемый радиосигнал, и превышают его по интенсивности, могут сделать приём сигнала невозможным. Для обеспечения нормального приёма в радиоприемник вводят устройства для спец. обработки радиосигнала с целью *подавления помех радиоприёму.* Предел чувствительности зависит от собственных флуктуационных шумов радиоприемник (см. *Флуктуации электрические*). Последние уменьшают, применяя малошумящие входные усилители. Простейший из них – регенеративный усилитель с туннельным диодом. Значительно лучшие результаты дают *параметрический усилитель* и *квантовый усилитель* (мазер).

Итак, перечислим минимально необходимое для однозначного определения приемника число его общих внешних параметров ([1], стр.202):

1.Несущая частота *fн* сигналов на входе приемника и ее стабильность *fн*± δ*fн* , где δ – ошибка передачи сигнала.

2.Полоса пропускаемых частот 2Δ*fн*.

3.Чувствительность приемника по напряжению сигнала *Uco* и соответствующее ей отношение сигнала к шуму на входе приемника *Uco*/*Uш*.

4.Динамический диапазон сигналов на входе приемника телеметрической системы *Кд* = *Uc макс*/*Uco* и соответствующие ему величина сигнала *Ucв* и допустимое ее изменение на выходе приемника δ*Ucв*/*Ucв*.

5.Избирательность по соседнему зеркальному каналу и промежуточной частоте.

6.Число каналов и способ их разделения.

7.Параметры каналов на входе приемника (частоты и полосы сигналов при частотном разделении или последовательность и длительность сигналов при временном разделении).

8.Амплитудные, частотные и фазовые характеристики сигналов на выходах всех каналов приемника.

9.Допустимые взаимные помехи между каналами.

10.Величина ошибки передачи сигнала, обусловленная приемником.

11.Уровень шумов в каналах.

12.Способы контроля работоспособности и основных параметров приемного устройства.

**2.** **Общие сведения об устройстве приемников телеметрических систем**

***Радиоприемник*** – устройство, предназначенное (в сочетании с антенной) для приёма радиосигналов или естественнных радиоизлучений и преобразования их к виду, позволяющему использовать содержащуюся в них информацию.

В зависимости от назначения радиоприемники делят на:

- вещательные (*радиовещательный приёмник*),

- телевизионные (*телевизор*),

- связные (*радиосвязь*),

- радиолокационные (*радиолокационная станция*) и др.

Основные функции, выполняемые радиоприемником:

1. Частотная селекция – выделение из всего радиочастотного спектра электромагнитных колебаний, действующих на антенну, части его, содержащей искомую информацию.

2. Усиление – увеличение энергии принятых (обычно очень слабых) колебаний до уровня, при котором становится возможным их использование.

3. Детектирование – преобразование принятых модулированных радиочастотных колебаний в электрические колебания, соответствующие закону модуляции, т. с. непосредственно содержащие информацию.

Эти функции реализуются входящими в состав радиоприемника:

-частотно-селективными резонансными цепями *(колебательные контуры, объёмные резонаторы, электрические фильтры),* настраиваемыми на требуемые частоты или полосы частот;

-*усилителями электрических колебаний* и

-*детектором.*

Кроме того, в радиоприемнике обычно имеются цепи автоматического регулирования, чаще всего *автоматической регулировки усиления* и *автоматической подстройки частоты.* Конструктивно в состав радиоприемника могут также входить средства воспроизведения принимаемой информации (например, *громкоговоритель, кинескоп*)и контроля работы радиоприемника (например, стрелочные измерительные приборы, различные индикаторы).

Радиоприемник может принимать радиосигналы на одной или на нескольких фиксированных частотах либо в диапазоне частот с возможностью настройки практически на любую частоту в его пределах. В последнем случае весь рабочий диапазон частот радиоприемника обычно делят на поддиапазоны.

Усиление колебаний в радиоприемнике осуществляется в основном до детектора. Додетекторный усилитель делают селективным (посредством включения в него резонансных цепей), последетекторный усилитель, где спектр усиливаемых колебаний характеризует принимаемую информацию, – с полосой пропускания, равной ширине этого спектра, нередко с коррекцией амплитудно-частотной характеристики в области нижних и верхних частот (см. *Видеоусилитель*).

В соответствии с типом додетекторного усилителя различают радиоприемники:

- прямого усиления,

- регенеративные,

- сверхрегенеративные,

- рефлексные,

- супергетеродинные.

В радиоприемнике прямого усиления принятые колебания усиливаются до детектора без преобразования их частоты.

В регенеративном радиоприемнике в резонансную цепь, настроенную на частоту принимаемого сигнала, вносится т. н. *отрицательное сопротивление*. Это достигается посредством цепи положительной *обратной связи* или подключением соответствующего электронного прибора, например, *туннельного диода.*

В сверхрегенеративном радиоприемнике к колебательному контуру в каскаде усиления радиочастот подключают цепь прерывистой положительной обратной связи, которая периодически вызывает в контуре самовозбуждение колебаний. При этом амплитуда колебаний (или её среднее значение) оказывается пропорциональной амплитуде принимаемого сигнала, но превосходит последнюю в 104 - 105 раз. Хотя радиоприемник этого типа имеют простую конструкцию, их широкому применению препятствуют сравнительно сильные искажения принимаемых сигналов.

В рефлексном радиоприемнике один и тот же усилитель используют одновременно для додетекторного и последетекторного усиления, упрощая тем самым конструкцию радиоприемника.

Самое высокое качество радиоприёма получают в *супергетеродинном радиоприёмнике* (наиболее распространён).

В соответствии с видом модуляции принимаемых сигналов детектор радиоприемника может быть амплитудного, частотного, фазового или др. типа.

*Дополнительная литература*

1. Радиоприёмные устройства, под общей ред. В.И.Сифорова, М.: 1974.

2. Чистяков Н.И., Сидоров В. М. Радиоприёмные устройства, М.: 1974.

**3.** **Типовые структурные схемы приемной части телеметрических систем**

На рис.1-3 представлены блок-схемы радиоприемного устройства телеметрической системы.



Рис.1. Блок-схема радиоприемного устройства телеметрической системы



Рис.2. Блок-схема радиоприемного устройства прямого усиления:

А – антенна, ВЦ – входная цепь, УВЧ – усилитель высокой частоты,

Д – детектор, УНЧ – усилитель низкой частоты,

ОУ – оконечное устройство (регистратор, монитор, компьютерная обработка информации)

Распространяясь, радиоволны достигают приёмной антенны и возбуждают в ней электрические колебания, которые поступают далее в радиоприёмник. Принятый радиосигнал очень слаб, так как в приёмную антенну попадает лишь незначительная часть излучённой энергии (см. *Распространение радиоволн*).Поэтому радиосигнал в радиоприёмнике поступает в электронный усилитель, после чего он подвергается демодуляции, или *детектированию*.В результате выделяется сигнал, аналогичный сигналу, которым были модулированы колебания с несущей частотой в радиопередатчике.

Далее этот сигнал (обычно дополнительно усиленный) преобразуется при помощи соответствующего воспроизводящего устройства в сообщение, адекватное исходному.



Рис.3. Блок-схема супергетеродина:

А – антенна, ВЦ – входная цепь, УВЧ – усилитель высокой частоты,

С – смеситель; Г – гетеродин; УПЧ – усилитель промежуточной частоты, Д – детектор, УНЧ – усилитель низкой частоты,

ОУ – оконечное устройство (регистратор, монитор, компьютерная обработка информации)

В радиоприемном устройстве супергетеродинного типа напряжение сигнала преобразуется в промежуточную частоту, не изменяющуюся при перестройке. Смеситель преобразует частоту сигнала с помощью гетеродина, работающего на частоте *fг*, в разностную частоту *fc* – *fг*. Избирательность и чувствительность супергетеродина зависит от резонансных свойств контуров УПЧ.

Преимущества супергетеродинов: более высокие чувствительность, избирательность и стабильность работы, простота настройки, а также более эффективная работа систем автоматической регулировки усиления и автоматической подстройки частоты (см. ФЭС, том 4, стр.301-304).

**4. Демодуляция**

**4.1 Процесс демодуляции**

Принятый приемной частью телеметрической системы модулированный высокочастотный сигнал даже после усиления не способен фиксироваться при помощи регистраторов, поэтому необходимо вновь получить сигнал звуковой частоты из высокочастотного модулированного колебания.

Детектирование осуществляется устройством, содержащим элемент с односторонней проводимостью – детектор. Таким элементом может быть электронная лампа (вакуумный диод, триод) или полупроводниковый диод.

Рис.4.



Рис.5. Последовательное представление процесса демодуляции

**4.2. Демодуляторы**

*Демодулятор* предназначен для преобразования частотно-модулированного напряжения (ЧМ-напряжения) поднесущей частоты, полученного в приемной части телеметрической системы, в исходный электрический сигнал.

Демодулятор в принципе представляет собою полосовой фильтр с определенной частотной характеристикой.

Поскольку в телеметрических системах используются поднесущие частоты звукового диапазона, то демодулятор целесообразно выполнить с использованием R,C-элементов.

Для демодуляции ЧМ-напряжения обычно используют балансный частотный дискриминатор. Схема RC-дискриминатора состоит из *двух двойных Т-образных мостов*. Мосты соединены параллельно.

Схема Т-мостового фильтра



*R*2 = 0,5 *R*1 ;

*С*2 = 0,5 *С*1 ; ω*RС* = 1 ; .

Рассмотрим работу Т-моста







.



Другое представление той же схемы



Следующее представление той же схемы

На базе таких двух мостов, настроенных на близкие частоты, строится демодулятор.



При *F*> *Fподнес* работает один мост.

При *F*< *Fподнес* работает второй мост.

На выходе демодулятора будем иметь аналог исходного сигнала.

При *F*= *Fподнес* на выходе имеется нулевой потенциал.



Рис. Демодуляционная характеристика двойного Т-моста и демодулятора

Такой RC-демодулятор имеет малые габариты и главное достаточно большой линейный участок на демодуляционной кривой.

Это нужно для того, чтобы поднесущая частота при достаточной девиации могла демодулироваться без нелинейных искажений.

Особенность наладки демодулятора заключается в том, что необходимо с высокой точностью настраивать Т-мосты.

В качестве демодулятора может быть использован и полосовой RC-фильтр. Однако при этом собственная частота фильтра несколько смещена от частоты поднесущей.

Отсюда возникает существенный недостаток – сложно демодулировать ЧМ-колебания с малой девиацией.



Рис. Принцип преобразования девиации частоты в напряжение сигнала

Что значит малая девиация, большая девиация и почему важна величина девиации? Малая девиация на входе ПРМ обеспечивает малый уровень сигнала, соизмеримый с шумами радиотракта. Увеличивая избирательность фильтра мы повышаем крутизну демодуляционной характеристики.

