Практическое занятие № 2

# Обеспечение помехоустойчивости радиосвязи

*Продолжительность практического занятия* – 2 часа.

*Цель практического занятия* – ознакомление с видами радиопомех, приобретение практических навыков по расчету отдельных параметров помехоустойчивости радиотелеметрической аппаратуры.

## 1. Общие сведения

С каждым годом обостряется вопрос помехозащищенности телеметрической и радиотелеметрической аппаратуры.

Это связано с тем, что модернизируются старые вещательные передатчики (повышается их мощность), открываются новые ведомственные и частные вещательные и связные радиостанции. Развивается сеть сотовой связи. К сожалению, часто эти передатчики располагаются внутри города и создают сильные помехи радиотелеметрическим системам.

Например, вещательная станция, работающая на частоте 1600 кГц, блокирует приемники 160-метрового диапазона, а некоторые ведомственные станции дают сильные помехи на 30, 80 и 40-метровом диапазоне. Системы служебной УКВ связи мешают работе радиотелеметрических систем на частоте 144 мГц. Мощные сигналы УКВ вещания «забивают» более слабые сигналы других УКВ станций.

В наше время стали интенсивно внедряться средства радиотелеметрических измерений. Побочным действием любого передатчика являются помехи или блокирование приемника радиотелеметрических систем, поскольку поступающий на вход приемника сильный сигнал является наиболее опасным воздействием на них.

Единственный путь, который возможен для обеспечения нормальной работы радиотелеметрических систем – это ослабление уровня помех.

**2. Распространение радиоволн**

Радиоволны разных диапазонов обладают неодинаковыми свойствами, влияющими на дальность их распространения. Волны одной длины, преодолевают большие расстояния, а волны другой длины «теряются» за пределами горизонта. Бывает так, что радиосигнал превосходно слышен где-нибудь по ту сторону Земля или в Космосе, но его невозможно обнаружить в нескольких десятках километров от радиостанции.

Допустим, что мы настроили приемную часть радиотелеметрической системы на расположенную рядом передающую часть, работающую в диапазонах ультракоротких, коротких, средних и длинных волн. Удаляясь от передающей части, мы смогли бы наблюдать такое явление: уже в нескольких десятках километров прекратился бы прием на ультракоротковолновом и коротковолновом диапазонах. Через 800…1000 км мы перестали бы принимать сигналы по средневолновому диапазону, а через 1500…2000 км – и сигналы по длинноволновому диапазону. Но на большем расстоянии мы смогли бы снова принять сигналы на коротковолновом диапазоне.

Как известно, земная атмосфера состоит из трех основных слоев. Первый слой, верхняя граница которого кончается в 10…12 км от поверхности Земли, называют *тропосферой*. Над ним, километров до 50 от поверхности Земли простирается второй слой – *стратосфера*. А выше, примерно до 400 км над Землей, находится третий слой – *ионосфера* (рис.1). Ионосфера и играет решающую роль в распространении радиоволн, особенно коротких.



Рис.1. Путь радиоволн

Воздух в ионосфере сильно разрежен. Под действием солнечных излучений (в основном, ультрафиолетовых) в ионосфере из атомов газов выделяется множество свободных электронов, в результате чего появляются положительные ионы. Таким образом происходит *ионизация* верхнего слоя атмосферы. Ионизированный слой способен поглощать радиоволны и искривлять их путь. В течение суток (в зависимости от интенсивности солнечного излучения) количество свободных электронов в ионизированном слое, его толщина и высота изменяются, а от этого меняются и электрические свойства этого слоя.

Антенны радиостанций излучают радиоволны, как вдоль земной поверхности, так и вверх под различными углами к ней. Волны, идущие вдоль земной поверхности, называют *земными* или *поверхностными*, а идущие под различными углами – *пространственными*.

При приеме сигналов станций длинноволнового диапазона используется главным образом энергия поверхностных волн, которые хорошо огибают поверхность Земли. Но Земля, являясь проводником, поглощает энергию радиоволн. Поэтому по мере удаления от длинноволновой передающей станции качество приема сигналов постепенно падает и, наконец, прием совсем прекращается.

Средние волны хуже огибают Землю и сильнее, чем длинные, поглощаются ею. Этим и объясняется меньшая дальность связи средневолновых передающих станций по сравнению с длинноволновыми.

Так, например, сигналы передающей части радиотелеметрической системы, работающей на волне длиной 300…400 м, могут быть приняты на расстоянии в два-три раза меньшем, чем сигналы передающей части такой же мощности, но работающей на волне длиной 1500…2000 м. Чтобы повысить дальность действия радиотелеметрической системы, приходится увеличивать мощность их передающей части.

В вечернее и ночное время радиотелеметрическая система с передающей частью на длинноволновом и средневолновом диапазонах работает лучше, чем днем. Дело в том, что излучаемая вверх часть энергии радиоволн днем теряется в атмосфере.

Радиоволны коротковолнового диапазона сильно поглощаются Землей и плохо огибают ее поверхность. Поэтому уже в нескольких десятках километров от таких станций их поверхностные волны затухают. Но зато пространственные волны могут быть обнаружены приемниками в нескольких тысячах километрах от них и даже в противоположной точке Земли.

Искривление пути пространственных коротких волн происходит в ионосфере. Войдя в ионосферу, они могут пройти в ней очень длинный путь и вернуться на Землю очень далеко от радиостанции. Они могут обойти всю Землю и их можно принять даже в том месте, где расположена передающая станция. Этим и объясняется секрет хорошего распространения коротких волн на большие расстояния даже при малых мощностях передатчика.

Но короткие волны имеют и недостатки. Образуются зоны, где передачи коротковолновой станции не слышны. Их называют *зонами молчания* (рис.1). Величина зоны молчания зависит от длины волны и состояния ионосферы, которое в свою очередь зависит от интенсивности солнечного излучения.

Ультракороткие волны по своим свойствам наиболее близки к световым лучам. Они, в основном, распространяются прямолинейно и сильно поглощаются землей, растительным миром, различными сооружениями и предметами. Поэтому уверенный прием сигналов ультракоротковолновых станций поверхностной волной возможен тогда, когда между антеннами передатчика и приемника можно мысленно провести прямую линию, не встречающую по всей длине каких-либо препятствий в виде гор, возвышенностей, лесов. Ионосфера же для ультракоротких волн прозрачна, и они почти беспрепятственно проходят через нее. Поэтому-то этот диапазон волн используют для связи с искусственными спутниками Земли, космическими кораблями и между ними.

Но наземная дальность действия даже мощной ультракоротковолновой станции обычно не превышает 100…200 км. Лишь путь наиболее длинных волн этого диапазона (с длиной волн 8…9 м) несколько искривляется нижним слоем ионосферы, который как бы пригибает их к земле. Благодаря этому расстояние, на котором возможен прием сигналов ультракоротковолновой передающей части радиотелеметрической системы, может быть большим. Иногда сигналы могут быть приняты даже на расстояниях в сотни и тысячи километров от передающей части.

**3. Основные виды помех**

На входе приемника кроме полезного сигнала действуют различного рода помехи, которые существенным образом затрудняют прием телеметрической информации. В связи с этим всегда существует некоторая вероятность принять помеху за сигнал или, наоборот, принятый сигнал истолковать как помеху.

Для сравнения на рис.2 и 3 приведены изображения исходного сигнала и сигнала с наложенными на него помехами.



Рис.2. Сигнал



Рис.3. Сигнал с помехами

Помехи могут быть обусловлены причинами как внешнего, так и внутреннего происхождения. Это космические, атмосферные, индустриальные шумы, мешающие воздействия различной электроаппаратуры и радиоаппаратуры, внутренние шумы приемника и другие. Помехи могут быть флуктуационного или сосредоточенного характера (по частоте и времени), с равномерным или неравномерным спектром. Наиболее типичным примером флуктуационной помехи является «тепловой шум».

Суммарный шум на входе приемной части определяется как уровнем помех и шумов в линии связи, так и продуктами их взаимодействия непосредственно в приемнике. Приемник должен быть спроектирован таким образом, чтобы свести уровень этих дополнительных помех к минимуму. Наиболее характерными помехами этого типа являются перекрестная модуляция, комбинационные помехи, шумовая модуляция и запирание приемника.

*Перекрестная* *модуляция* – наиболее серьезный вид помехи для приемников на частотах ниже 100 МГц. Она образуется в результате взаимодействия в приемнике мешающих и полезных сигналов на нелинейностях третьего порядка и выше (нелинейности характеристик транзисторов, плохих контактов в антеннах и т.д.). Например, искажение в 0,08 % по третьей гармонике вызывает перекрестную модуляцию в 1 %, причем коэффициент перекрестной модуляции зависит от квадрата напряжения несущей частоты.

*Комбинационные* *помехи* обычно возникают на нелинейностях второго порядка и оказывают гораздо меньшее влияние на качество работы приемной части, так как частоты, создающие эти помехи, располагаются далеко за диапазоном принимаемых частот и могут быть отфильтрованы входными цепями.

*Шумовая модуляция* возникает в результате взаимодействия напряжения шума и сигнала на нелинейных элементах. Шумовая модуляция обладает чертами, как перекрестной модуляции, так и комбинационных помех. Этот вид помех можно наблюдать и при отсутствии сигнала в результате модуляции шумом сигналов соседних частот.

При воздействии импульсных помех значительной амплитуды вход приемной части перегружается, и детектирование помехи приводит к *запиранию* входного каскада. При этом его рабочая точка смещается в нелинейную область, где сильнее проявляются перекрестная модуляция и комбинационные помехи. Время запирания будет определяться постоянной времени входной цепи τ, которая обычно намного больше длительности возмущающего импульса.

**4. Шумовые характеристики радиосвязи**

Дальность действия радиосвязи (при отсутствии поглощения средой) равна:

,

где *Pc*– мощность сигнала на входе приёмника,

*Рш* – мощность шумов,

*G*1*, G*2 – коэффициенты направленного действия антенн передающей и приёмной частей.

В качестве шумовой характеристики приемной части обычно используют *коэффициент шума* ([1], стр.111):

,

где *Рс* и *Рш* – средняя номинальная мощность полезного сигнала и шума;

*kP* – коэффициент усиления по мощности.

Кроме *kш* применяют также *эквивалентную шумовую температуру*, которая определяется из выражения ([1], стр.111):

,

где *Т*0 = 293 К.

Полная эквивалентная шумовая температура приемной части *Тш.полн* зависит как от действия его собственных шумов, так и от шумов внешнего происхождения ([1], стр.111):

,

где *ТА* – эквивалентная шумовая температура антенны, обусловленная шумами внешнего происхождения.

На частотах свыше 100 МГц при определении *Тш.полн* необходимо учитывать оба слагаемых. В приемниках, работающих на частотах ниже 100 МГц, основную роль играет *TA*, так как на этих частотах .

Оптимальный частотный диапазон необходимо выбирать с учетом уровня внешних помех и шумов, определяющих значение *TA*.

**5. Шумы антенны**

Приёмная антенна всегда находится в таких условиях, когда на неё, кроме полезного сигнала, воздействуют шумы. Воздух и поверхность Земли вблизи антенны, поглощая энергию, в соответствии с законом излучения Рэлея – Джинса создают электромагнитное излучение. Шумы возникают и за счёт джоулевых потерь в проводниках и диэлектриках подводящих устройств.

Выше было отмечено, что все шумы внешнего происхождения описываются так называемой *шумовой* (или *антенной*) температурой *TA*. Зная температуру *TA* , можно определить мощность *Рш* внешних шумов на входе антенны в полосе частот Δ*f* приемной части радиотелеметрической системы из выражения:

,

где *k* – постоянная Больцмана, *k* = 1,38066⋅10–23 Дж/К.

На частотах ниже 30 МГц преобладающую роль играют атмосферные шумы. В области сантиметровых волн решающий вклад вносит излучение поверхности Земли, которое попадает в антенну обычно за счёт боковых лепестков её диаграммы направленности. Поэтому для слабонаправленных антенн антенная температура, обусловленная Землёй, высока. Она может достигать 140…250 К. У остронаправленных антенн антенная температура составляет обычно 50…80 К, а специальными мерами её можно снизить до 15…20 К.

**6. Методы снижения помех и обеспечения помехоустойчивости радиосвязи**

Для уменьшения уровня помех применяют следующие основные методы ([1], стр.111):

–использование высокоизбирательных входных цепей;

–оптимизация рабочего тока первого каскада УВЧ;

–использование входных каскадов с небольшим коэффициентом передачи во избежание нелинейного режима работы;

–применение отрицательной обратной связи.

Следует отметить, что улучшение избирательности усилителя, осуществляемое с целью уменьшения помех первых трех групп (комбинационные и шумовые помехи, перекрестная модуляция), приводит к увеличению искажений от импульсных помех, так как в этих условиях импульсы больше растягиваются.

***Задача***: Определить мощность *Рш* внешних шумов на входе штыревой антенны при работе приемной части радиотелеметрической системы на частотах 80…90 МГц.

**Контрольные вопросы**

1. Чем обусловлена необходимость повышения помехоустойчивости радиосвязи телеметрических системах?

2. Какие волны называются поверхностными?

3. Какие волны называются пространственными?

4. Отражаются ли ультракороткие волны ионосферой?

5. На какие основные виды подразделяются помехи?

6. Какими параметрами описываются шумовые характеристики?

7. Что влияет на шумовую температуру антенны?

8. Какие методы снижения помех применяются в радиотелеметрических системах?

## Вопросы для самоподготовки

1. Изучите историю развития радиосвязи.

2. В чем заключаются основы радиоприема?

Литература

1. Телекоммуникационные системы и сети: учеб.пособие. В 3 т. / под ред. В.П.Шувалова. – 2-е изд., испр.и доп., Т.2: Радиосвязь, радиовещание, телевидение / Г.П.Катунин, Г.В.Мамчев, В.Н.Попантонопуло, В.П.Шувалов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 672 с.: ил.

*Решение задачи*:

.

Рекомендации по улучшению:

1.Длины радиоволн везде пересчитать на частоты.

2.Уточнить формулы.

Практическое занятие № 3

# Расчет генераторов поднесущей частоты

*Продолжительность практического занятия* – 2 часа.

*Цель практического занятия* – изучение принципов построения генераторов поднесущей частоты, получение практических навыков по анализу электрических цепей и решению задач.

**1. Общие сведения**

В телеметрических системах в качестве генератора поднесущих колебаний находит применение мультивибратор. Схема мультивибратора выгодно отличается от остальных схем генераторов отсутствием нестандартных деталей и малым числом элементов.

**2. Расчетные формулы**

Расчет мультивибратора (рис.1), применяемого в качестве генератора поднесущих колебаний, при заданном напряжении источника питания *Uk0* можно произвести в следующем порядке.



Рис.1. Схема мультивибратора, применяемого в качестве генератора поднесущих колебаний

1.Рассчитывают величину сопротивления *Rk* по формуле:

, (1)

причем *Ik*≥ (10…20) *Ik*0*′*, (2)

где *Ik*0*′* – неуправляемый ток коллектора при наивысшей температуре.

Транзисторы, работающие в аппаратуре, нагреваются от окружающей среды, от внешних источников теплоты и от токов, протекающих через сам транзистор. При повышении температуры увеличивается проводимость полупроводников и токи в них возрастают, что приводит к изменению характеристик транзистора.

Неуправляемый ток коллектора при наивысшей температуре *Ik*0*′* определяют из выражения

, (3)

где *Ik*0– неуправляемый ток коллектора при температуре *t* = 20°;

*t′* – наивысшая расчетная температура.

С другой стороны

*Ik*≤ *Ikп*, (4)

где *Ikп* – допустимый ток коллектора в режиме переключения.

В выражение (1) подставляется наибольшая из величин, определенных по формулам (2) и (4).

2.Рассчитывают значение сопротивления *R*по формуле:

, (5)

где *Uбмин* – минимальное напряжение источника, питающего базы транзисторов.

3.Период колебаний мультивибратора определяется из выражения:

. (6)

С изменением напряжения *Uб*, например, при помощи потенциометра *R*1 изменяется частота мультивибратора.

Приведенные формулы дают хорошее согласование расчета с экспериментом для частот ниже 10 кГц. При более высоких частотах начинает заметно сказываться расход энергии конденсатора на рассасывание неосновных носителей в базе закрывающегося транзистора.

**3. Некоторые замечания**

Одним из недостатков мультивибратора является прямоугольная форма напряжения колебаний. Однако для одноканальных телеметрических систем это в ряде случает несущественно.

При применении мультивибратора в многоканальных телеметрических системах форма колебательного напряжения может быть исправлена путем включения фильтра нижних частот, причем высокой точности к элементам фильтра не предъявляются. Фильтр может быть выполнен как на RC-элементах, так и на LC-элементах. Частоту среза целесообразно выбирать в 1,5 раза выше частоты колебаний мультивибратора.

*Задача*: Произвести расчет частоты колебаний мультивибратора с транзисторами МП14 (имеет коэффициент усиления по току в схеме с общим эмиттером β = 30…50) при напряжении питания 4 В, если *R* = 6 кОм, *C* = 0,025 мкФ, *Uб* = 1,2 В.

**Контрольные вопросы**

1.Из каких элементов состоит генератор поднесущей частоты на основе мультивибратора?

2.Какие факторы влияют на работу мультивибратора?

3.Как определяется частота колебаний генератора?

4.Как корректируется форма колебательного напряжения генератора при его использовании в многоканальных телеметрических системах?

**Вопросы для самоподготовки**

1. Какие типы генераторов кроме мультивибратора используются для генерации поднесущих колебаний?

2. Какие характеристики транзистора измененяются за счет увеличения проводимости полупроводников при повышении температуры?

**Литература**

1.Бабский Е.Б., Баевский Р.М., Геллер Е.С., Домбровский Л.С., Парин В.В., Розенблат В.В., Унжин Р.В. Биологическая телеметрия. Под общ.ред. В.В.Парина. – М.: Медицина, 1971. – 264 с.

2.Жеребцов И.П. Основы электроники. – 4-е изд., перераб.и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр.отд-ние, 1985 – 352 с., ил.

*Решение задачи*:

.

Отсюда .

Подставляем известные данные:

.