**Тема 2. Каналы передачи**

2.1 Канал как четырехполюсник, основные характеристики канала, пропускная способность канала.

2.2 Согласование параметров сигнала с параметрами канала. Объем сигнала и объем канала.

2.3 Канал тональной частоты (ТЧ), основные характеристики канала ТЧ. Организация двусторонней связи по каналу ТЧ. Развязывающие устройства, их основные характеристики, требования к ним.

2.4 Широкополосные каналы, их использование для передачи различных видов сообщений.

***2.1 Канал как четырехполюсник, основные характеристики канала, пропускная способность канала.***

Канал передачи, как совокупность технических средств и среды распространения электрического сигнала, представляет каскадное соединение различных четырехполюсников, осуществляющих фильтрацию, преобразование сигналов, их усиление и коррекцию. Следовательно, канал можно представить *эквивалентным четырехлолюсником,* параметрыи характеристики которого определяют качество передачи сигналов



Канал передачи как четырехполюсник

Обозначения: 1 – 1’ и 2 – 2’ - входные и выходные полюсы (или зажимы) соответственно; *Iвх(jω*) и *Iвых(jω)* -комплексные входной и выходной токи; *Uвх(jω)* и *Uвых(jω)* - ком­плексные входное и выходное напряжения; *Zвх(jω)* и *Zвых(jω)* - ком­плексные входное и выходное сопротивления (как правило, величины активные и равные, т.е. *Zвх = Rвх, Zвых = Rвых);* *Uвх(t)*, *Uвых(t)* - мгновенные значения напряжения входного и выходного сигналов *рвх* и *рвых* - входной и выходной уровни сигналов по напряжению или мощности.

Комплексный коэффициент передачи по напряжению

*K(jω) = Uвых(jω)/Uвх(jω) = K(ω)ejb(ω)*

гдеК(ω) - модуль коэффициента передачи и b(ω) -фазовый сдвиг между входным и выходным сигналами.

**Примечание.** Если берет­ся отношение входного тока к выходному, то говорят о коэффици­енте передачи по току;

**Основные характеристики канала связи**

Свойства каналов и их соответствие требованиям к качеству пе­редачи сообщений определяются рядом параметров и характеристик:

1. Входные и выходные сопротивления *Zвх(jω)* и *Zвых(jω)* канала передачи являются ком­плексными величинами и, как правило, определяются активными элементами, т.е. *Zвх = Rвх, Zвых = Rвых*.
2. *рвх* и *рвых* - входной и выходной уровни по напряжению или мощности сигналов, определяются как величины



1. *Рабочее остаточное затухание* (ОЗ) канала передачи определяется при условии подключения к соответствующим полюсам 1-1’ и 2-2’ активных сопротивлений *Rвх*  и R*вых* и может быть определено по формуле

*Aост=p-p=-*

где *Ai*- затухание *i*-го и *Sj* - усиление *j*-го четырехполюсников, состав­ляющих канал передачи.

Это означает, что *остаточное затухание* (ОЗ) канала пред­ставляет собой алгебраическую сумму затуханий и усиленийи удобна при расчетах *Aост*, когда известны затухания усилительных участков и усиления усилителей. ОЗ измеряется на определенной для каждого канала *измерительной частоте.*

Остаточное затухание канала увязывается с его полосой пропус­кания.

1. Полоса частот канала, в пределах которой остаточное затухание отличается от номинального не более чем на некото­рую величину *∆Aост* называется *эффективно передаваемой поло­сой частот (ЭППЧ). В* пределах ЭППЧ нормируются допустимые отклонения ОЗ *∆Аост* от номинального значения по формуле:

*∆Аост= Аост(f) - Аост(f0),*

где f - текущая частота и f0 - частота определения номинального значения ОЗ.

С понятием ЭППЧ тесно связана *амплитудно-частотная характеристика* (*АЧХ)*

1. Под *АЧХ* канала понимается зависимость *остаточного зату­хания от частоты Аост* = *φч* (f) *при постоянном уровне на входе канала, т.е. рвх = const.* Эта характеристика оценивает амплитудно-частотные искажения, вносимые каналом за счет зависимости его ОЗ от частоты. Допустимые искажения опре­деляются шаблоном отклонений ОЗ в пределах ЭППЧ.
2. *Под фазо-частотной характеристикой (ФЧХ) - понимается зависимость фазового сдвига между выходным и входным сигналами от час­тоты, т.е. b = φф* (f).

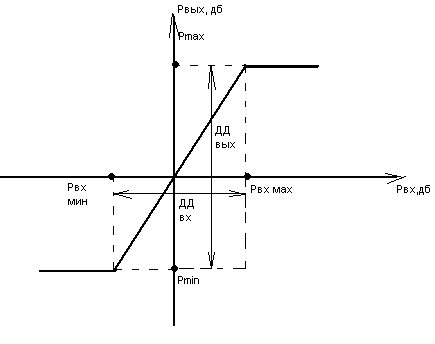


1. Непосредственное измерение фазового сдвига, вносимого каналом, затруднительно, для оценки (разовых искажений рассматривают частотную *характеристику группового времени запаздывания (ГВЗ)*

*τ (ω) = d(ω)/dω*,

где 𝜑*(ω)-* фазочастотная характеристика.

1. *Амплитудная характеристика* (АХ) - зависимость выходного уровня передачи сигнала от входного уровня передачи.



АХ позволяет определить *динамический диапазон* канала:

*ДДвх=ДДвых*

Нелинейность АХ характеризуется появлением *нелинейных искажений*, которые проявляются в возникновении *гармоник* или *комбинационных* частот входного сигнала. По АХ можно лишь приблизительно оценить величину нелинейных иска­жений.

1. Величина нелинейных искажений в каналах оценивается *коэффициентом нелинейных искажений* или *за­туханием нелинейности*

*K=* или A=20lg

где U1г - действующее значение напряжения первой (основной) гармоники измерительного сигнала; U2г, U3г и т.д. - действующие значения напряжений второй, третьей и т.д. гармоник сигнала, возникших из-за нелинейности АХ канала передачи.

Кроме того, в технике многоканальных телекоммуникационных систем передачи широко пользуются понятием *затухания нелинейности по гар­моникам:*

Aнг = 20lg (U1г/Unг) = p1г – pnг, n=2,3.....

где р1г - абсолютный уровень *первой гармоники* измерительного сигнала; рпг - абсолютный уровень n-й *гармоники,* обусловленной нелинейностью **АХ** канала.

***2.2 Согласование параметров сигнала с параметрами канала. Объем сигнала и объем канала.***

Условия, при котором параметры сигнала полностью согласованы с параметрами канала полностью описывается таким свойством сигнала и канала как его объем.

Канал может характеризоваться тремя параметрами:

1) *эффективно передаваемой полосой частот* *∆Fк* которую канал способен пропустить с выполнением требований к качеству переда­чи сигналов;

2) *временем предоставления* Тк, в течение которого канал предоставлен для пе­редачи сигналов или сообщений;

3) *динамическим диапазоном* Dk:

D=10lg

где Wкмакс – макс. неискаженная мощность, которая может быть передана по каналу; Wкмин- мин. мощность сигнала при которой обеспечивается необходимая защищенность от помех*.*

Очевидно, что *передача* сигнала с параметрами *∆Fc ,*Тс и Dc по каналу с параметрами *∆Fk,,TK* и *DK* возможна при условии: произведение трех параметров канала

*VK* = *Dk Fk Tk*

и называется его *емкостью* или *объемом канала*. Сигнал может быть передан по каналу, если его емкость не менее объема сигнала.

Vk  ≥ VC

Если неравенство не выполняется, то возможна *деформация* одного из параметров сигнала, позволяющих согласовать его объем с емко­стью канала.

***2.3 Канал тональной частоты (ТЧ), основные характеристики канала ТЧ. Организация двусторонней связи по каналу ТЧ. Развязывающие устройства, их основные характеристики, требования к ним.***

Типовой аналоговый канал пере­дачи с полосой частот 300...3400 Гц и с нормированными пара­метрами и характеристиками называется *каналом тональной частоты* (КТЧ).

1. *Входное и выходное сопротивление* КТЧ

 Ом

Коэффициент отражения



1. *Остаточное затухание канала* КТЧ



, [дБ]

Нормированная (номинальная) величина относительного (изме­рительного) уровня на входе КТЧ равна pвх = -13 дБм, на выходе КТЧ pвых = + 4 дБм. Частота измерительного сигнала принимается равной fизм = 1020 Гц (ранее 800 Гц). Таким образом, номинальное остаточное затухание КТЧ равно Аост = - 17 дБ, т.е. КТЧ вносит уси­ление, равное 17 дБ.

1. *Амплитудно-частотная характеристика* отклонений остаточного затухания ∆Аост от номинального значения (-17дБ) задаётся шаблоном.



Шаблон допустимых отклонений остаточного затухания КТЧ

Чтобы выполнить требования к частотной характеристике оста­точного затухания, ее неравномерность для простого канала длиной 2500 км должна укладываться в пределы, указанные в табл.

Таблица

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| f, кГц | 0,3...0,4 | 0,4...0,6 | 0.6...2.4 | 2.4...3.0 | 3,0...3,4 |
| ∆Аост, дБ | 1,4 | 0,72 | 0,6 | 0.72 | 1,4 |

1. *Амплитудная характеристика* КТЧ нормируется следующим обра­зом: остаточное затухание простого канала должно быть постоянным с точностью до 0,3 дБ при изменении уровня измерительного сигнала от -17,5 до +3,5 дБ в точке с нулевым измерительным уровнем на любой частоте в пределах 0,3... 3,4 кГц.



1. *Нелинейные искажения* – появление дополнительных спектральных составляющих

Коэфициент нелинейных искажений



U1 – действительное значение 1-й гармоники

U2, U3 – действительное значение гармоник 2 и 3.

Коэффициент нелинейности i-ой гармоники

или затухание нелинейности  дБ

Коэффициент нелинейных искаже­ний для простого канала не должен превышать 1,5 % (1 % по 3-й гармонике) при номинальном уровне передачи на частоте 1020 Гц.

1. *Фазо-частотная характеристика**–* зависимость разности фаз сигнала на выходе и входе канала от частоты.

 или 

1. *Групповое время запаздывания (ГВЗ).*

Условие, при котором отсутствуют фазовые искажения

 *= d(ω)/dω*=const



Для КТЧ характеристика ГВЗ нормируется следующим образом

Таблица

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| f, кГц | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1 | 1,4 | 1,6 | 2,2 | 2,7 | 2,8 | 3,0 | 3,2 | 3,3 |
| ∆, мсек | 2,4 | 1,5 | 1,1 | 0,6 | 0,4 | 0,1 | 0,1 | 0,15 | 0,45 | 0,75 | 1,35 | 1,9 |

1. *Динамический диапазон* КТЧ составляет величину 30...35 дБ.
2. *Средняя мощность шумов* в КТЧ

Для измерения шумов в канале применяется псофометрическая модель, при которой канал связи имитируется псофометрическим фильтром



Соотношения между уровнями передачи на выходе (по сути с учетом шума) ко входному уровню и коэффициент псофометрии:

 и 

Затухание Aп(t), обусловлено влиянием шума и может иметь вид



Канал КТЧ длиной в 2500 км должен быть ограничен псофометрической мощностью шума: 10 000 пВт. Причем 2500 пВт приходится на оконечное оборудование и пункты ответвления и транзитов, а 7500 пВт – в линии.

1. *Пропускная способность* КТЧ:

Пропускная способность канала выше, чем производительность источника телефонного сигнала (8 кбит/с), *ΔFk≥ΔFc*, следовательно КТЧ пригоден для передачи телефонного сигнала.

*Организация двусторонней связи по каналу ТЧ. Развязывающие устройства, их основные характеристики, требования к ним.*

Существует два способа организации двухсторонней связи:

*Полудуплексная связь* (англ. half-duplex) – способ связи в которой устройство в один момент времени может либо передавать, либо принимать информацию.  Пример полудуплексной связи – разговор по рации: каждый из корреспондентов в один момент времени либо говорит, либо слушает.

*Дуплексная связь* (англ. full-duplex) – способ связи, по которой возможна передача в обоих направлениях одновременно по двум физически разделённым каналам связи (по отдельным проводникам). Пример дуплексной связи – разговор двух людей (абонентов) по городскому телефону: каждый из говорящих в один момент времени может и говорить, и слушать своего корреспондента.

В телефонных линиях связи принято использовать

- как *двухпроводные соединения,* которые пригодны лишь для местной связи на сравнительно небольшие расстояния (200 - 350 км), т.к. число промежуточных усилителей ограничено (их может быть не более трех-пяти) и обусловлено явлением резонанса.

- так и *четырехпроводные соединения*, которые используются для передачи по транспортным сетям. В данном типе соединений необходимо две пары проводов: по одной паре абонент говорит, а по другой - слушает собеседника. В этом случае организуется два КТЧ, по одному в каждом из направлений. Расстояния по такой цепи теоретически бесконечны, т.к. между двумя конечными точками можно установить большое количество усилителей. Однако сама по себе 4-х проводная линия не решает проблему дальней связи, т.к. малая скорость распространения электроволн ухудшает слышимость и разборчивость речи. Для устранения этих помех применяются коаксиальные кабели, обеспечивающий большую скорость распространения электрических волн.

Для согласования параметров (уровней сигналов, входных и выходных сопротивлений) двухпроводного и четырехпроводного соединений применяют *развязывающие устройства*.

Обобщенная структурная схема *развязывающего устройства*



ПУ – переходное устройство;

А1, А2 – переходные затухания переходных устройств (желательно чтобы эти величины были как можно больше, однако реально они ограничены);

S1, S2 – усиление в КТЧ, также ограничено нелинейными эффектами.

Пути передачи сигналов от зажимов 1-1 к зажимам 2-2 и от зажимов 3-3 к зажимам 1’-1’, а также 1’-1’ к 2’-2’ и от 3’-3’ к 1-1 называются направлениями пропускания и характеризуются минимально возможным затуханием (ослаблением); пути передачи сигналов от зажимов 2-2 к зажимам 3’-3’, а также 2’-2’ к зажимам 3-3 называется направлениями развязки (задерживания) и характеризуются максимально возможным затуханием.

Как следует из схемы ПУ представляет собой шестиполюсник.

Требования к ПУ:

-большое затухание в направлении задерживания

-небольшое затухание в направлении пропускания

-согласование входных сопротивлений и уровней передачи 2-х и 4-х проводных частей двустороннего канала.

Развязывающие устройства характеризуются:

1) рабочим затуханием

α12=α2’1’

α13=α3’1’

2) переходным затуханием

α23’=α32’

3) остаточным затуханием

αост=рвх- рвых

αост 4-х= - S1

αост 2-х= α12 -S1+ α31’

4) явлением обратной связи

Явление обратной связи (ОС) связано с искажением формы сигнала в процессе чего происходит самовозбуждение канала.

Канал не возбудится, если А1 + А2 > S1 + S2

Запас устойчивости: X= (А1 + А2) – (S1+ S2), дБ

Если X30 дБ, то мы можем пренебречь неравномерностью амплитудно-частотной характеристики развязывающего устройства (коэф. передач).

Наличие паразитной ОС, даже если выполняется условие устойчивости, приводит к искажению АЧХ тракта (канала)

Ќβ=  

 -коэффициент установившихся процессов без ОС

 - глубина обратной связи



Величина искажений зависит от αОС и φОС

Развязывающие устройства могут быть построены на принципах частотной селекции или на принципах уравновешенных (сбалансированных) мостовых схем, называемых дифференциальными системами (ДС).

Развязывающие устройства подразделяются на следующие три группы:

- линейные РУ, построенные на пассивных элементах, параметры которых не меняются во времени и не зависят от уровня передачи сигналов; такие РУ называются пассивными;

- линейные РУ, которые содержат активные элементы, их параметры не меняются во времени и не зависят от уровня передачи сигналов; такие РУ называются активными;

- параметрические РУ, в которые включены элементы с изменяющимися во времени параметрами.

В двухпроводных и четырехпроводных системах широкое применение нашли линейные пассивные обратимые РУ на основе резисторов, включенных по мостовой схеме и построенные на основе дифференциальных трансформаторов, которые называются трансформаторными дифференциальными системами.

Примеры реализации развязывающих устройств

|  |  |
| --- | --- |
| Четырёхпроводное телефонное соединение | Двухпроводное телефонное соединение |
| Дифференциальная система  по двухпроводной линии | Равновесный мост |

***2.4 Широкополосные каналы, их использование для передачи различных видов сообщений.***

Современные системы передачи позволяют кроме стандартных каналов ТЧ организовать каналы с более высокой пропускной способностью. Увеличение пропускной способности достигается расширением эффективно передаваемой полосы частот, причем широкополосные каналы образуются объединением нескольких каналов ТЧ.

К широкополосным каналам (трактам) относятся специальным образом сформированные группы каналов тональной частоты:

- *предгрупповой широкополосный канал (ПГШК),* 12…24 кГц, N=3;

*- первичный (ПШК),* 60…108 кГц, N=12;

*- вторичный (ВШК*), 312…552 кГц, N=60;

*- третичный (ТШК)*, 812 … 2044 кГц, N=300

*- четверичный (ЧШК)*, 8516…12388 кГц, N=900

Для организации связи на телекоммуникационных сетях параметры и характеристики этих каналов должны быть унифицированы независимо от оборудования их образования.

Основные нормы на электрические характеристики и параметры широкополосных каналов приведены в табл.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметры и характеристики | Типовые широкополосные каналы | | | | |
| ПГШК | ПШК | ВШК | ТШК | ЧШК |
| 1. Границы эффективно передаваемой полосы частот, кГц | 12,3  …23,4 | 60,6  …107,7 | 312,3  …551,4 | 812,6  …2043,7 | 8516  …12388 |
| 2.Номинальная величина входного и выходного сопротивления, Ом | 600 | 600/75 | 75 | 75 | 75 |
| 3. Номинальный относительный измерительный уровень, дБм0: на входе на входе | - 36 - 14 | - 36 - 23 | - 36 - 23 | - 36 - 23 | - 36 - 23 |
| 4 Остаточное затухание, дБ | - 22 | -13 | -13 | -13 | -13 |
| 5. Допустимая неравномерность частотной характеристики остаточного затухания, дБ | ± 0,87 | ± 0,87 | ±0,87 | ± 0,5 | ± 0,15 |
| 6. Допустимые отклонения группового времени прохождения, мкс в полосе, кГц | 13…23 | 65…103 | 330..530 | 0,25 900…1900 | 0,25  9300  …11700 |
| 7. Амплитудная характеристика прямолинейна при изменении уровня, дБм в сторону уменьшения в сторону увеличения с точностью ±дБ | - 10 | - 10 | - 10 | - 10 | - 10 |
| 8. Средняя мощность сигнала в точке с нулевым относительным уровнем, мВт0 | 0,096 | 0,348 | 1,92 | 9,6 |  |
| 9. Уровень среднего невзвешенного шума (за час), дБм0 при протяженности канала 2500 км | - 42 | - 35 | - 28 | - 21 | - 16 |
| 10. Пропускная способность не ниже, бит/с | 82×103 | 330×103 | 165×104 | 8,5×106 | 33×106 |

**Примечание.** Величины номинальных измерительных уровней, остаточного затухания и амплитудная характеристика измеряются на частотах 18 *кГц* для предгруппового, 82 *кГц* для первичного, 420 *кГц*для вторичного и 1545 *кГц* для третичного широкополосного канала.