

КАФЕДРА СПЕЦИАЛЬНЫХ СРЕДСТВ СВЯЗИ

ЛЕКЦИЯ

Тема № 1. Принципы построения систем передачи с частотным разделением каналов.

Занятие № 2,3: “ Линейные тракты систем передачи с ЧРК ”.

Обсуждена на заседании кафедры
(предметно-методической комиссии)
Протокол № _____ от
” _____ ” _____ 2018 года

**Санкт-Петербург
2018**

I. Учебные цели:

Изучить типы линейных трактов, основные параметры проводных трактов, особенности распространения сигналов в проводном ЛТ.

II. Воспитательные цели:

Воспитать у курсантов специальности АСУВ чувство уважения к кабельно-линейным сооружениям связи, обеспечивающим наряду с радиорелейными и спутниковыми линиями связи образование первичной сети каналов.

III. Расчет учебного времени:

| Содержание занятия | Время, мин. |
|--|-------------|
| ВСТУПИТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ | 5 |
| УЧЕБНЫЕ ВОПРОСЫ: | |
| 1. Особенности распространения сигналов по проводным линиям связи. | 15 |
| 2. Классификация проводных линейных трактов. | 15 |
| 3. Параметры и структура проводного ЛТ СП с ЧРК. | 50 |
| ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ | 5 |

IV. Учебно-материальное обеспечение:

Наглядные пособия:

Плакат «Структура проводного линейного тракта».

V. Литература:

1. Каналообразование и управление на первичных сетях связи / Под ред. А.Т.Лебедева. – ВАС, 1986.
2. Теоретические основы многоканальной связи. Учебник для электротехнических институтов связи. М., «Связь», 1978.
3. ВСМЭС. Учебное пособие в таблицах и иллюстрациях.-Часть 2, раздел 3, с.11-14. Макаренко А.Я., Мотков И.М. – ЛВВИУС, 1986.

Введение

Составной частью каждой многоканальной системы передачи является линейный тракт, который представляет собой совокупность технических средств, обеспечивающих передачу, сигналов электросвязи в пределах одной конкретной системы передачи.

Линейный тракт аналоговых систем передачи обеспечивает передачу сигналов в полосе частот, определяемой числом каналов ТЧ данной системы и возможностями линии передачи (среды передачи).

Линейный тракт цифровых систем передачи обеспечивает передачу сигналов со скоростью, определяемой числом цифровых каналов данной системы и возможностями линии передачи (среды передачи).

Для передачи любых сигналов используются проводные, радиорелейные, тропосферные и спутниковые линейные тракты.

В данной лекции будет рассмотрен только проводной ЛТ. Передача электромагнитной энергии в проводных ЛТ осуществляется по металлическим или диэлектрическим линиям связи.

1. Особенности распространения сигналов по проводным линиям связи

В проводных линейных трактах передача электромагнитной энергии осуществляется вдоль направляющих систем. Роль направляющей системы могут выполнять металлические или диэлектрические линии. К металлическим линиям относятся симметричные и коаксиальные кабели, цепи воздушных линий и волноводы, к диэлектрическим – волоконно-оптические кабели.

Основой существующих аналоговых и цифровых проводных линейных трактов является проводная линия, представляющая собой симметричную или коаксиальную кабельную пару или цепь воздушной линии. Среда для передачи сигнала может считаться идеальной, если она не вносит затухания и замедления, не создает линейных и нелинейных искажений, и в ней не возникают помехи и шумы.

Приведем здесь некоторые важные характеристики проводных линий.

В рабочем диапазоне частот проводные линии практически обладают линейной фазовой характеристикой и, следовательно, имеют независимое от частоты постоянное время замедления. При этом скорость распространения электромагнитной энергии в проводных линиях всегда меньше скорости распространения радиоволн в свободном пространстве.

Затухание цепей проводных линий имеет частотную зависимость, что приводит к амплитудно-частотным искажениям сигнала. Характер зависимости затухания цепей всех типов на достаточно высоких частотах примерно соответствует закону $a = k\sqrt{f}$, то есть затухание пропорционально корню квадратному от частоты. Коэффициент k имеет различные значения для разных типов цепей. На относительно низких частотах у всех цепей наблюдаются значительные отклонения от этого закона. Так, цепи симметричного кабеля в диапазоне ниже 12 кГц обладают значительной кривизной частотной характеристики, что затрудняет корректирование амплитудно-частотных искажений на низких частотах. На рис.1 приведены характеристики затухания различных цепей, длины которых подобраны так, что в диапазоне частот от 5 до 10 МГц затухания цепей приведенных типов кабеля практически одинаковы.

Из рисунка следует, что для каждого типа линии должны применяться свои корректирующие устройства, учитывающие характеристику затухания данной цепи. Амплитудно-частотные искажения создаются и вследствие разной степени

согласования линии с аппаратурой в тех участках диапазона частот, где волновое сопротивление линии имеет частотную зависимость. Так, на низких частотах (например, в симметричных кабелях – ниже 12 кГц) волновое сопротивление имеет комплексный характер и заметную частотную зависимость (рис.2).

В связи с вышеизложенным, в линейных трактах симметричных кабелей нижняя частота линейного сигнала выбирается равной 12 кГц.

Обычно в общей оболочке кабеля размещается несколько цепей. За счет электромагнитной связи энергия с одной цепи переходит на остальные. Это влияние проявляется и на ближнем, и на дальнем концах участка кабеля в виде переходной помехи. При этом влияние на ближнем конце всегда сильнее, чем на дальнем.

В симметричном кабеле во всех случаях наблюдается увеличение влияния (уменьшение переходного затухания) с ростом частоты. Практикой установлено, что на частотах выше 600 кГц обеспечить требуемую защищенность от переходных влияний при приемлемых длинах усилительных участков не удастся. Поэтому верхней границей многоканального сигнала для линейных трактов симметричных кабелей выбирается частота ниже 600 кГц. И только специальный отбор цепей по взаимному влиянию допускает расширение используемого диапазона примерно до 1,3 МГц (например, система передачи К-1020 С).

В коаксиальных трубках на частотах выше 60 кГц внешние электромагнитные поля практически отсутствуют, то есть, нет взаимных влияний между трубками, расположенными в одном кабеле. Однако из-за конструктивных особенностей трубок (внешний проводник недостаточно сплошной) внешние влияния начинают проявляться в диапазоне частот выше 60 МГц.

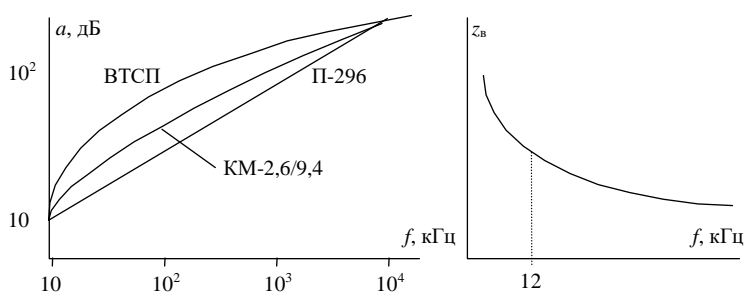


Рис. 1

Рис. 2

Поэтому по критерию взаимных влияний определяются границы диапазона частот для аналоговых систем передачи, работающих по коаксиальным кабелям от 60 кГц до 60 МГц.

Воздушные линии связи используются в ограниченном диапазоне частот вследствие быстрого роста затухания с увеличением частоты, а также трудностей в обеспечении достаточного переходного затухания между цепями на высоких частотах. Поэтому на стальных цепях используется диапазон от 4 до 32 кГц, на цветных – от 4 до 150 кГц. Несмотря на ряд недостатков, воздушные линии, благодаря малым затратам на материалы и строительство, применяются на государственных и военных сетях связи в тех районах, где невелика потребность в каналах.

На проводных линиях отсутствуют быстрые изменения затухания, с которыми, например, приходится сталкиваться в трактах радиосистем. На кабельных линиях всех типов имеются только медленные изменения затухания, основной причиной которых является изменение температуры. Зависимость коэффициента затухания цепей кабеля от температуры определяется формулой

$$\alpha_t = \alpha_{20} [1 + \alpha_a (t - 20)] \quad (6.1)$$

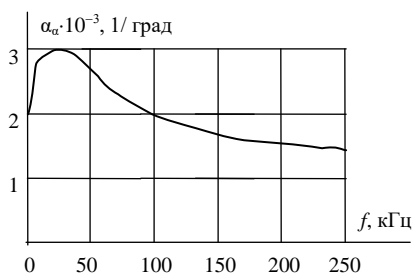


Рис. 3

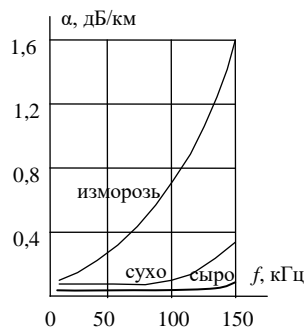


Рис. 4

где α_t и α_{20} – коэффициенты затухания при температуре t и $20\text{ }^\circ\text{C}$; $\alpha\alpha$ – температурный коэффициент затухания.

Для кабелей с медными проводами (жилами) $\alpha\alpha \cong 2 \cdot 10^{-3}$ 1/град. Отклонения от этого значения определяются типом кабеля. Кроме того, имеется заметная частотная зависимость температурного коэффициента. На рис.3 приведена частотная зависимость температурного коэффициента затухания кабеля П-296.

Годовой перепад температур для стационарных кабелей, проложенных в грунте на глубине порядка 1,2 м, может достигать величин $20 \dots 25\text{ }^\circ\text{C}$. Для полевых кабелей, проложенных по поверхности, даже суточный перепад температур может составлять $25 \dots 30\text{ }^\circ\text{C}$. Поэтому при проектировании систем передачи необходимо предусматривать компенсацию температурных изменений затухания цепей кабеля.

На воздушных линиях связи изменения затухания во времени проявляются особенно сильно и определяются в основном атмосферными условиями. Наибольший рост затухания наблюдается при образовании на проводах слоя изморози или гололеда (рис.4).

Кабели дальней связи достаточно надежно защищены от внешних электромагнитных полей металлической оболочкой или экраном. Поэтому внешними помехами и шумами на цепях кабельных линий пренебрегают.

На воздушных линиях наводимые внешними источниками помехи определяются многочисленными причинами, среди которых наводки от длинноволновых радиостанций, промышленные помехи, атмосферные помехи и др. Шумы, создаваемые на воздушных линиях всей совокупностью внешних источников, носят название шумов атмосферного происхождения. Этот вид шумов превалирует над всеми другими шумами, возникающими в системах передачи воздушных линий.

Рядом особых свойств обладают бурно внедряемые в сети связи всех государств новые направляющие системы – волноводы и особенно волоконно-оптические кабели. Преимущества их заключаются, прежде всего, в чрезвычайно широком диапазоне частот. Волноводы можно использовать для создания линейных трактов в диапазоне частот $35 \dots 80$ ГГц., а волоконно-оптические кабели – в диапазоне $(2,8 \dots 3,3) \cdot 10^5$ ГГц. Таким образом, полоса частот волновода примерно на два порядка, а волоконно-оптической линии – на пять порядков шире полосы частот, используемой в коаксиальном кабеле. В этих диапазонах частот коэффициент затухания волновода и волоконно-оптической линии практически не зависит от частоты и составляет примерно 3 дБ/км для волновода и до 10 дБ/км, а в перспективе сотые доли дБ/км для волоконно-оптической линии. В этих типах линий полностью отсутствуют внешние поля, то есть – нет взаимных влияний. Волоконно-оптические кабели выгодно отличаются от волноводов чрезвычайно малыми весогабаритными показателями и возможностью до минимума сократить расход цветных металлов при производстве.

2. Классификация проводных линейных трактов

Характерные особенности линейных трактов аналоговых систем передачи определяются, главным образом, свойствами линий связи (направляющих систем).

Линейные тракты проводных линий связи подразделяются в зависимости от типа линий связи: тракты симметричных кабельных линий связи, тракты коаксиальных (несимметричных) линий связи, тракты воздушных линий связи (ВЛС), тракты волоконно-оптических линий связи (ВОЛС).

По принципу построения линейные тракты и системы передачи (СП) в целом различают: двухпроводные (одноволоконные для ВОЛС), четырехпроводные (двухволоконные).

В двухпроводных (одноволоконных) СП передача сигналов в противоположных направлениях производится по одной и той же двухпроводной линии (по одному и тому же волокну). Для разделения сигналов электросвязи разных направлений передачи линейный спектр формируется в двух различных полосах частот (на двух длинах световых волн), одна из которых, например, $f_1 \dots f_2$ (длина волны λ_1) используется для передачи в одном направлении, а другая, например, $f_3 \dots f_4$ (длина волны λ_2) – в обратном направлении.

В четырехпроводных (двухволоконных) СП передача сигнала в разных направлениях осуществляется по различным двухпроводным цепям. Это дает возможность использовать так называемые однополосные системы, в которых передача и прием осуществляются в одной и той же полосе частот, например, $f_1 \dots f_2$ (в ВОСП на одной и той же длине волны).

Поэтому линейные тракты и системы передачи по принципу использования линейного спектра частот подразделяются на двухполосные и однополосные.

Очевидным недостатком двухпроводных двухполосных систем передачи, по сравнению с однополосными четырехпроводными, является необходимость расширения линейного спектра более чем вдвое, что приводит к сокращению длины усилительных участков. Кроме того, для разделения сигналов различных направлений в линейном тракте двухпроводных двухполосных систем требуется большое число направляющих фильтров (на оконечных и всех усилительных пунктах), что ухудшает электрические параметры каналов передачи, усложняет и удорожает оборудование усилительных пунктов. Несмотря на это, такие системы передачи на ВЛС являются единственно пригодными, так как стоимость каждой цепи ВЛС значительна, а коэффициент затухания меньше, чем кабельной цепи. Поэтому на ВЛС экономически выгоднее уменьшить количество используемых для линейного тракта цепей, чем упрощать усилительные станции и уменьшать их количество в линейном тракте за счет применения четырехпроводной схемы тракта.

Четырехпроводные однополосные системы передачи, как правило, используются на кабельных линиях связи. Это объясняется тем, что коэффициент затухания цепей этих линий значительно выше, чем ВЛС. Поэтому здесь важно, чтобы верхняя частота линейного спектра была по возможности ниже, что обуславливает применение однополосного линейного тракта.

Четырехпроводные однополосные системы передачи, а, следовательно, и их линейные тракты могут быть однокабельными или двухкабельными. В однокабельных трактах цепи передачи разных направлений находятся в одном и том же кабеле, в двухкабельном – в различных кабелях.

3. Параметры и структура проводного ЛТ СП с ЧРК

Структурная схема кабельной аналоговой системы передачи приведена на рис.5.

Линейный тракт АСП представляет собой совокупность технических средств, предназначенных для передачи сигналов электросвязи в пределах одной системы передачи с ЧРК в полосе частот, определяемой типом направляющей системы и числом каналов ТЧ данной системы передачи.

Эта полоса частот формируется в аппаратуре сопряжения АС из типовых групповых спектров и называется линейным спектром частот.

Линейный тракт АСП состоит из однородных участков $L_{од}$, разделенных пунктами (станциями) транзита по ТЧ и по групповым трактам (ГТ). Как видно из рис.5, однородные участки линейного тракта включают: оконечную аппаратуру линейного тракта (ОАЛТ) оконечного пункта и транзитных пунктов, цепи линий связи (усилительные участки $l_{уу}$) и промежуточные усилительные пункты – необслуживаемые и обслуживаемые (НУП и ОУП). На ТП по ГТ ОАЛТ не показана.

Линейный тракт предназначается для безыскаженной передачи многоканального сигнала от одного оконечного пункта к другому (ОП-1 и ОП-2) на заданную дальность L . С этой целью в линейном тракте осуществляется компенсация затухания цепей линий связи (усиление) и корректирование искажений, вносимых линией. Структура линейного тракта различных систем передачи и типа используемой линии связи может незначительно отличаться. Так, кроме обслуживаемых и необслуживаемых усилительных пунктов (ОУП и НУП), могут применяться полубслуживаемые усилительные пункты (ПОУП). НУП-ы работают без участия обслуживающего персонала, но требуют периодического профилактического осмотра. Электропитание

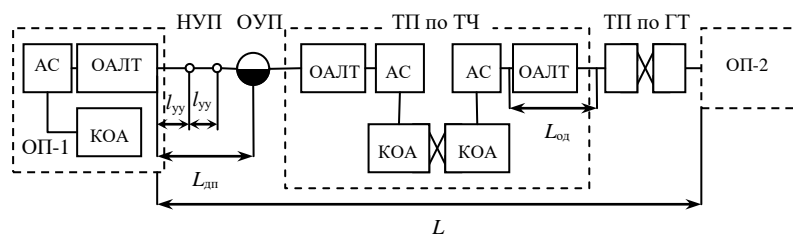


Рис.5

они получают дистанционно от оконечных или обслуживаемых промежуточных пунктов (ОУП, ТП), поэтому являются простейшими по построению и экономичными по потреблению мощности источников питания усилителями. Для ПОУП предусматривается непостоянное, а для ОП, ОУП, ТП – постоянное обслуживание техническим персоналом

Рассмотрим назначение отдельных участков и пунктов однородного участка линейного тракта (ЛТ).

Однородным участком ЛТ ($L_{од}$) называется часть системы передачи между соседними транзитными или оконечным и транзитным пунктами (станциями), в которых линейный тракт (линейный спектр частот) разделяется на групповые типовые тракты (спектры частот) или каналы ТЧ. Следовательно, на однородном участке передается только линейный спектр частот. Транзитные пункты (станции) в состав линейного тракта не входят, а только их оконечная аппаратура линейного тракта (ОАЛТ).

Расстояние между любыми соседними пунктами ЛТ называется усилительным участком ($l_{уу}$). Каждый участок линии вносит затухание $a_{уу}$, имеющее частотную

зависимость, которая изменяется в процессе эксплуатации при изменении окружающих условий и прежде всего температуры.

Усилительные пункты (станции) предназначены для компенсации затухания усилительных участков. При этом для компенсации амплитудно-частотных искажений линии каждый усилитель должен иметь частотно-зависимое усиление аналогичное характеристике затухания усилительного участка, а также изменяться во времени в процессе эксплуатации в соответствии с изменениями затухания при изменении температуры от $t^{\circ}\text{min}$ до $t^{\circ}\text{max}$.

Поэтому в состав усилительных пунктов входят устройства регулирования частотных характеристик усилителей: на ОУП – более сложные, на НУП – менее сложные. Эти устройства позволяют с определенной точностью автоматически компенсировать амплитудно-частотные искажения в линейном тракте.

Часть линейного тракта между соседними обслуживаемыми пунктами или расстояние между ОП (ТП) и соседним ОУП, а также между соседними ОУП называется секцией дистанционного питания (ЛДП) или секцией регулирования. На обслуживаемых пунктах размещаются источники электропитания для дистанционного питания расположенных между ними необслуживаемых усилительных пунктов, а также устройства автоматического регулирования усиления и его частотной характеристики по специальным контрольным частотам, передаваемым по линейному тракту от оконечных пунктов.

На транзитных пунктах по групповым трактам (ТП по ГТ) осуществляется транзит по типовым групповым спектрам и уточнение корректирования амплитудно-частотных искажений в соответствующей группе – первичной, вторичной и т.д. В этих пунктах устанавливается часть оборудования двух оконечных станций, доводящих линейный спектр сигнала до нужных групповых спектров с обеих сторон линии передачи.

На транзитных пунктах по ТЧ линейный сигнал доводится до спектра 0,3...3,4 кГц, производится коррекция частотной характеристики в каждом канале ТЧ и осуществляется их транзит. На этих пунктах устанавливается два комплекта оконечных станций.

Таким образом, транзитные пункты по групповым трактам и по тональной частоте устанавливаются в соответствии с проектом через определенные расстояния линии передачи для более полной компенсации амплитудно-частотных искажений, накапливаемых вследствие неточности такой компенсации на НУП-ах и ОУП-ах. Современные системы передачи обеспечивают достаточно высокую точность компенсации амплитудно-частотных искажений на НУП-ах и ОУП-ах, и транзитные пункты проектируются, исходя из организационных потребностей в тех местах линии передачи, где требуется выделение типовых трактов (широкополосных каналов) и каналов ТЧ в интересах этого пункта или для транзита на другие направления.

Основными параметрами однородного участка линейного тракта системы передачи являются: максимальная протяженность, длина секции дистанционного питания, длина усилительного участка, линейный спектр частот и относительные уровни передачи по каналам.

Максимальная протяженность однородного участка линейного тракта $L_{од}$ определяется расстоянием между оконечными (транзитными) пунктами (станциями), при котором с достаточной вероятностью гарантируется выполнение норм на все

параметры типовых каналов передачи, заданные техническими условиями на данную систему передачи.

Протяженность усилительного участка $l_{уу}$ при заданном числе каналов в системе передаче и типе линии определяется принципом построения линейного тракта и требованиями на необходимую шумовую защищенность в канале, либо защищенность между различными направлениями передачи канала.

Протяженность секции ДП, а, следовательно, и число НУП между ОП (ОУП) – ОУП (ОП) определяется типом линии, допустимыми значениями напряжения и тока ДП для данной системы передачи и возможностями устройств корректирования и регулирования амплитудно-частотной характеристики усиления. При проектировании стремятся обеспечить максимально возможную длину секции ДП с максимально возможным числом НУП.

Линейный спектр частот – это полоса частот, выбранная для передачи многоканального сигнала в пределах однородного участка линейного тракта системы передачи. Ширина линейного спектра влияет на длину усилительного участка, так как с увеличением верхней границы спектра увеличивается затухание линии.

Относительный уровень передачи по каналам – это такой абсолютный уровень на выходе линейного усилителя p_0 , если к входу тракта передачи подвести синусоидальный измерительный сигнал с номинальным уровнем. Линейные усилители – это усилители линейного тракта, то есть они усиливают линейный спектр частот.

Уровни передачи линейных усилителей в различных системах передачи выбирают исходя из технико-экономических соображений. Для обеспечения требуемой шумовой защищенности при заданной длине усилительного участка следует стремиться, как будет показано ниже, к увеличению уровня передачи p_0 на выходе всех усилителей тракта передачи. Однако при повышении уровня на выходе усилителя ухудшается его линейность, что приводит к нелинейным искажениям передаваемых сигналов и увеличению нелинейных шумов. Кроме того, чем больше уровень p_0 , тем более сложными и дорогими становятся усилители и другие элементы аппаратуры, увеличивается расход мощности источников электропитания.

Заключительная часть

При проектировании линейных усилителей стремятся получить максимально возможную неискаженную мощность при относительно несложной их реализации и приемлемом расходе мощности дистанционного питания.

Итак, из рассмотренных основных параметров линейного тракта видно, что все они определяют технико-экономические показатели системы передачи в целом.