

## Цифровые линейные тракты

При всём многообразии источников информации и методов её передачи, в конечном счёте, по цифровым линиям, каналам и трактам передаются сигналы, имеющие только две позиции, условно обозначаемые, как «1» и «0».

Если «1» определяется, как наличие сигнала на входе приёмника, а «0» – как его отсутствие, такую передачу принято называть *передачей с пассивной паузой*. Передача с пассивной паузой используется в большинстве систем передачи по металлическому кабелю и в радиосистемах, работающих с амплитудной манипуляцией. В волоконно-оптических системах «1» и «0» отличаются уровнями передаваемого излучения, но так как «0» при этом лежит ниже уровня срабатывания приёмника оптического сигнала, передачу по ВОЛС можно также отнести к передаче с пассивной паузой. Основным преимуществом данного метода является простота схемотехнических и системных решений и, как следствие, сравнительно невысокая стоимость аппаратуры.

Если же не только «1», но и «0» отображается путём генерации некоторого сигнала, такая передача называется *передачей с активной паузой*. Этот вид передачи, базирующийся, в отличие от передачи с пассивной паузой, не на простом обнаружении сигнала на приёмном конце, а на различении двух его позиций, позволяет обеспечить лучшее качество приёма. Вследствие более сложных схемотехнических и системных решений область применения принципа передачи с активной паузой ограничивается, в основном, системами радиосвязи с частотной и фазовой модуляцией.

Независимо от выбранного способа передачи, в процессе прохождения по линиям связи цифровые сигналы ослабляются, искажаются и подвергаются воздействию помех. Это в равной степени относится к линиям, построенным на базе металлических кабелей, ВОЛС, радиоканалам различных типов. Поэтому одним из самых важных аспектов построения ЦСП является восстановление (*регенерация*) в точках приёма амплитуды, формы и фазовых соотношений цифровых сигналов. Сказанное в равной мере относится как к линейным, так и к стыковым сигналам. Естественно, что каждая из используемых сред передачи имеет свою специфику, однако основные принципы восстановления цифровых сигналов можно считать общими для всех типов соединительных линий. К основным факторам, влияющим на качество связи, в первую очередь можно отнести следующие характеристики среды (или линии) передачи:

- *затухание*, вносимое линией передачи в полосе частот группового сигнала (частотная характеристика среды передачи);
- *характеристики однородности* среды передачи;
- *помехи*, действующие на участке переприёма и поступающие на вход аппаратуры вместе с информационным сигналом.

С другой стороны, также очень важно выбрать оптимальные параметры сигналов, передаваемых по линиям. В первую очередь, к ним относятся уровень сигнала и характер его частотного спектра.

Основной задачей приёмника сигнала является обеспечение эффективного выделения информационного сигнала, принимаемого на выходе линии в составе смеси сигнала и помехи. При передаче цифрового сигнала необходимо распознавать только две его позиции («1» или «0»). В этом случае, как показывает детальный анализ помехозащищённости систем передачи, мы получаем для цифровых систем передачи, осуществляющих аналого-цифровое преобразование исходного речевого сигнала, выигрыш по помехозащищённости по сравнению с АСП, равный 26 дБ. Отсюда можно сделать следующий вывод, что основной задачей построения линии связи является обеспечение максимального превышения уровня сигнала над уровнем шума (помехи). Общепринятым показателем качества линии является соотношение «сигнал-помеха»  $N$ , выраженное в логарифмической форме.

$$N = \log P_{\text{сиг}} / P_{\text{пом}} \quad (1)$$

Другим важным фактором, определяющим качественные показатели системы передачи, является характеристика спектра её сигнала, в первую очередь, ширина занимаемой полосы частот. Спектр сигнала зависит как от принятой в данной системе скорости передачи, так и от способа кодирования, а также от длительности и формы единичной посылки.

Наглядно перечисленные факторы можно представить в виде объёмного объекта  $V$ , транспортируемого по линии от передатчика к приёмнику в условиях воздействия шумов и наличия различных препятствий, где по трём осям Декартовых координат будут, соответственно, откладываться соотношение сигнал-помеха  $N$ , длительность сигнала  $T$  и спектр сигнала  $F$ . ( $V = N \cdot T \cdot F$ ).

Важнейшим требованием, предъявляемым к цифровым линиям, является соответствие параметров среды передачи характеристикам передаваемых по ней сигналов. Для этого нужно грамотно выбрать нужную скорость передачи, закон кодирования сигнала и параметры импульсов линейного или стыкового сигнала, передаваемого по данной среде. Но самое главное - это правильно выбрать среду передачи информации.

Отличительной особенностью отечественных цифровых сетей связи является широкое использование существующих кабельных линий, построенных, в основном, на базе симметричных металлических кабелей.

Все без исключения металлические кабели, предназначенные для работы на местных (ГТС и СТС), внутризоновых и магистральных сетях и большинство кабелей, используемых для внутристанционных соединений аппаратуры связи, разрабатывались применительно к аналоговым системам передачи, то есть для трансляции сравнительно низкочастотных и узкополосных сигналов. Опыт разработки и внедрения в эксплуатацию ЦСП показал, что больше всего проблем возникает при передаче цифровых сигналов по симметричным медным кабелям. Тем более что такие кабели пока преобладают на указанных сетях.

Передача электрического сигнала при этом неизбежно связана с значительной деформацией формы прямоугольных импульсов, которая выражается в увеличении времени нарастания переднего и спада заднего фронтов. При передаче по кабелю происходит попадание переднего и заднего фронтов импульсов в соседние тактовые интервалы. Подобные искажения носят название *межсимвольных помех* и существенно влияют на качество передачи. Так, например, в полосе частот до 1024 кГц передний фронт импульса может растянуться на 1,5 – 2 тактовых интервала, а задний фронт – до 5 тактовых интервалов. Для высокоскоростных систем такие деформации импульсов могут оказаться ещё более значительными. Когда деформированные таким образом импульсы взаимодействуют с другими импульсами передаваемой последовательности, и при этом на неё накладываются собственные шумы линии и аппаратуры и всевозможные внешние электромагнитные помехи. Затухание импульсного сигнала на участке переприёма может достигать величины нескольких тысяч раз.

В этих условиях простое усиление сигнала с целью его ретрансляции делается невозможным. Задача восстановления и ретрансляции сигнала решается при помощи регенераторов. Принцип действия и схемотехнические решения регенераторов цифровых сигналов подробно рассматриваются в следующих разделах данной главы.

Другим важным фактором, определяющим качество передачи, являются переходные влияния в симметричных кабелях.

Известно, что на ГТС и СТС широко используется *однокабельная* схема построения линии, при которой входящий и исходящий сигналы передаются по парам одного кабеля. В этом случае переходные влияния на ближнем конце являются основным фактором, определяющим качество передачи. Следует помнить, что величина

переходного затухания между парами внутри четвёрки составит 6 дБ на декаду, а между четвёрками в многочетвёрочном кабеле составит около 12 дБ на декаду.

Более выгодной с точки зрения обеспечения помехозащищённости является *двухкабельная* схема, в которой качество передачи в основном определяется переходными влияниями на дальнем конце. Выигрыш по помехозащищённости в двухкабельной схеме по сравнению с однокабельной может быть порядка 10 дБ.

Ещё одним фактором, определяющим качество передачи, являются *помехи, наводимые в парах кабеля какими-либо внешними источниками* (грозовые разряды, наводки от линий электропередачи, электрифицированных железных дорог, промышленного силового оборудования, радиопередатчиков и т.п.). Внешние помехи являются основной причиной падения качества передачи в радиоканалах, однако, их влияние необходимо учитывать и при проектировании и обслуживании кабельных линий.

Коаксиальные кабели имеют значительную величину экранного затухания и, если экран кабеля не повреждён, практически не подвержены воздействию переходных и внешних помех. Для линий, построенных коаксиальными кабелями, определяющим фактором является тепловой шум, влияние которого можно не учитывать при анализе работы линий других типов.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод о том, что степень искажения и ослабления сигнала зависит как от выбранной полосы частот, определяемой скоростью передачи и способом кодирования исходного бинарного сигнала, так и от величины затухания участка переёма, иначе называемого *регенерационным участком* или *элементарным кабельным участком* (ЭКУ).