

2. Формирование цифровых сигналов

2.1. Цифровая модуляция

В предыдущем разделе уже говорилось о том, что существующие телекоммуникационные сети в соответствии с их назначением можно разделить на *транспортные сети и сети доступа*. Транспортные сети, в соответствии с регионами, которые они обслуживают, делятся на местные (они, в свою очередь, подразделяются на городские и сельские), внутрizonовые и магистральные сети. В тоже время, по предполагаемым сферам обслуживания и характеру абонентов телекоммуникационные сети можно разделить на телефонные сети общего пользования (ТфОП) и корпоративные (ведомственные) или технологические сети.

Разумеется, характер абонентов этих сетей, номенклатура услуг и специфика передаваемой по ним информации накладывают на различные сети различные требования. Однако общего в методах формирования цифровых сигналов и их передачи по линиям связи для перечисленных выше сетей гораздо больше, чем различий между ними. Поэтому в дальнейшем мы будем говорить, в основном, о ТфОП, оговаривая, при необходимости, специфику работы корпоративных сетей.

Характерной чертой ТфОП является то, что она, с одной стороны, принадлежит к наиболее распространённым сетям, а с другой – то, что в том состоянии, в котором она находится в настоящее время, очень сложно обеспечить её нормальное функционирование в составе магистральной цифровой сети. И ещё: абонентский доступ в ТфОП в основном осуществляется по парам медного кабеля.

Начнём с главного: что же такое цифровая передача, и как перейти к ней от привычных нам аналоговых методов обработки и передачи телекоммуникационных сигналов. Целью любого метода передачи является передача как можно большего объёма информации с максимально высоким качеством и скоростью, и при этом обеспечить приемлемую экономическую эффективность этого процесса. Оптимальным вариантом является передача любого сообщения в цифровой форме, то есть в виде последовательности посылок только двух типов: единиц «1» и нулей «0». Такой сигнал и формировать просто, и распознавать несложно, а самое главное – его можно в каждой точке переёма распознавать и формировать заново, очищая, тем самым, от прилипших к нему по дороге помех и искажений. Такой процесс называется регенерацией, о нём мы поговорим после.

Известно, что наибольший объём передаваемых в сетях связи сообщений (70%) занимают аналоговые телефонные каналы, остальные 30% - это сигналы передачи данных (в литературе часто используется аббревиатура ПДИ). При построении цифровых сетей аналоговые абонентские сигналы преобразуются в цифровую форму (оцифровываются), после чего производится формирование группового цифрового сигнала методами временного уплотнения каналов. Подключение цифровых абонентов к сети по аналоговым абонентским линиям производится при помощи типовых модемов (наиболее часто встречающийся вариант подключения к Интернету). Однако абонент может быть непосредственно включён в цифровую сеть с интеграцией обслуживания (ЦСИО или ISDN). Передача цифровых сигналов по абонентским линиям реализуется с использованием специальных способов кодирования, позволяющих обеспечить передачу со скоростями, достигающими величин нескольких десятков мегабит в секунду (так называемая технология xDSL).

В цифровых системах передачи телефонные сообщения, передаваемые от абонентов непосредственно в аналоговой форме, преобразуются в цифровые при помощи цифровой модуляции. В этом случае последовательно производимые опробования абонентского сигнала кодируются и передаются в виде импульсной последовательности.

Импульсно-кодовая модуляция

Термин «*импульсно-кодовая модуляция*» (*ИКМ*) используется для обозначения метода преобразования сигнала, при котором опробования речевого или цифрового сигналов передаются в виде бинарных кодовых слов. ИКМ используется в технике связи как в цифровых системах передачи (ЦСП), так и в системах цифровой электронной коммутации (ЦЭАТС).

Как правило, цифровая информация, поступающая от ряда источников, уплотняется, то есть собирается в единый поток, который затем передаётся по линии связи, а на другом её конце разделяется на отдельные каналы, поступающие к получателям. Такое уплотнение получило название *временного*.

Все методы преобразования, передачи и коммутации сигналов должны быть стандартизованы для того, чтобы обеспечить нормальное взаимодействие аппаратуры, выпускаемой различными мировыми производителями и, тем самым, обеспечить нормальное функционирование интегральной сети связи.

В основе всех методов аналого-цифрового преобразования, включая ИКМ, лежит теория дискретизации. В соответствии с этой теорией: *при передаче по линии гармонического (плавно меняющегося) аналогового сигнала, он может быть преобразован в импульсный путём его стробирования импульсами с определённой длительностью и частотой следования.*

Такой процесс принято называть *дискретизацией*. В результате дискретизации на выходе стробирующего устройства (электронного ключа) формируется *амплитудно-импульсно модулированный сигнал*. Первоначально его импульсы имеют форму вершины, соответствующую форме исходного аналогового сигнала на участке стробирования. Однако такой сигнал (его принято называть амплитудно-импульсно модулированным сигналом первого рода или АИМ-1) сложно передавать и обрабатывать. Поэтому представляется целесообразным преобразовать его в последовательность импульсов с различной амплитудой, но с плоскими вершинами (его принято называть амплитудно-импульсно модулированным сигналом второго рода или АИМ-2). На другом конце линии связи исходный аналоговый сигнал может быть в определённых пределах восстановлен из этого импульсного сигнала (имеется в виду АИМ-2) путём его пропускания через интегрирующую схему (часто говорят о восстановлении исходного сигнала при помощи оптимального фильтра, но такой фильтр – это вещь чисто умозрительная).

Теорема Котельникова говорит, что основным условием реализации этого процесса является то, что частота дискретизации должна превышать удвоенную верхнюю частоту спектра аналогового сигнала.

Для удовлетворительной передачи человеческого голоса достаточно использовать полосу частот от 300 Гц до 3,4 кГц.

Установлено: для того, чтобы огибающая сигнала на выходе фильтра приёмного устройства максимально соответствовала исходному аналоговому сигналу, необходимо выбрать частоту стробирования, равную 8 кГц.

Однако полученный таким путём импульсный сигнал никак нельзя назвать цифровым, то есть последовательностью единиц и нулей. Его передача по линии связи, в конечном счёте, оказывается ещё более сложной, чем передача исходного аналогового сигнала. Для реализации всех преимуществ цифровой передачи сигнал АИМ надо преобразовать в последовательность бинарных символов «1» и «0»). Для этого аналоговый сигнал пропускается через фильтр нижних частот, затем стробируется, затем сигнал АИМ-1 преобразуется в АИМ-2 и полученные импульсы отсчётов преобразуются в цифровой сигнал путём кодирования (Рис. 1). При этом амплитуда каждого импульса сравнивается с соответствующим эталонным сигналом, разбитым на определённое число уровней или *шагов квантования*.

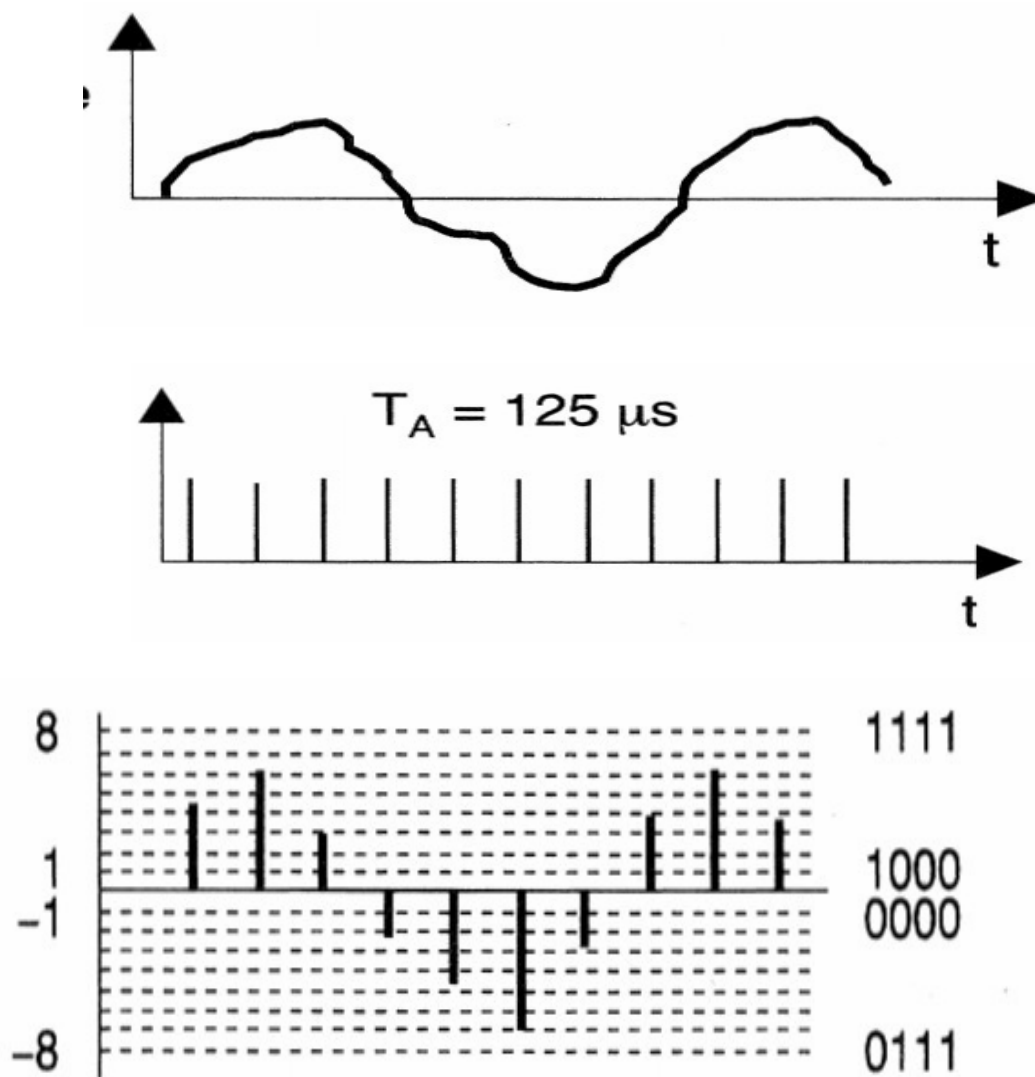


Рис. 1. Временные диаграммы ИКМ сигнала.

Амплитуда аналогового сигнала может принимать различные значения. Число уровней квантования, достаточное для цифрового кодирования этих значений, ограничено, что обуславливает возникновение искажений при декодировании. Эти искажения получили название шумов квантования и являются неизбежными при использовании ИКМ. Если все шаги квантования выбрать одинаковыми, большие значения амплитуды будут воспроизводиться более точно, чем малые значения, что, соответственно, даст меньшее значение шумов. В результате соотношение сигнал/шум

будет сильно зависеть от амплитуды сигнала. Указанный недостаток можно преодолеть, применяя *нелинейное кодирование*.

В настоящее время в Европе повсеместно используется так называемая нелинейная А-характеристика компандирования, подробно излагаемая в рекомендации МСЭ-Т G.711. На рис. 2 показана её положительная ветвь.

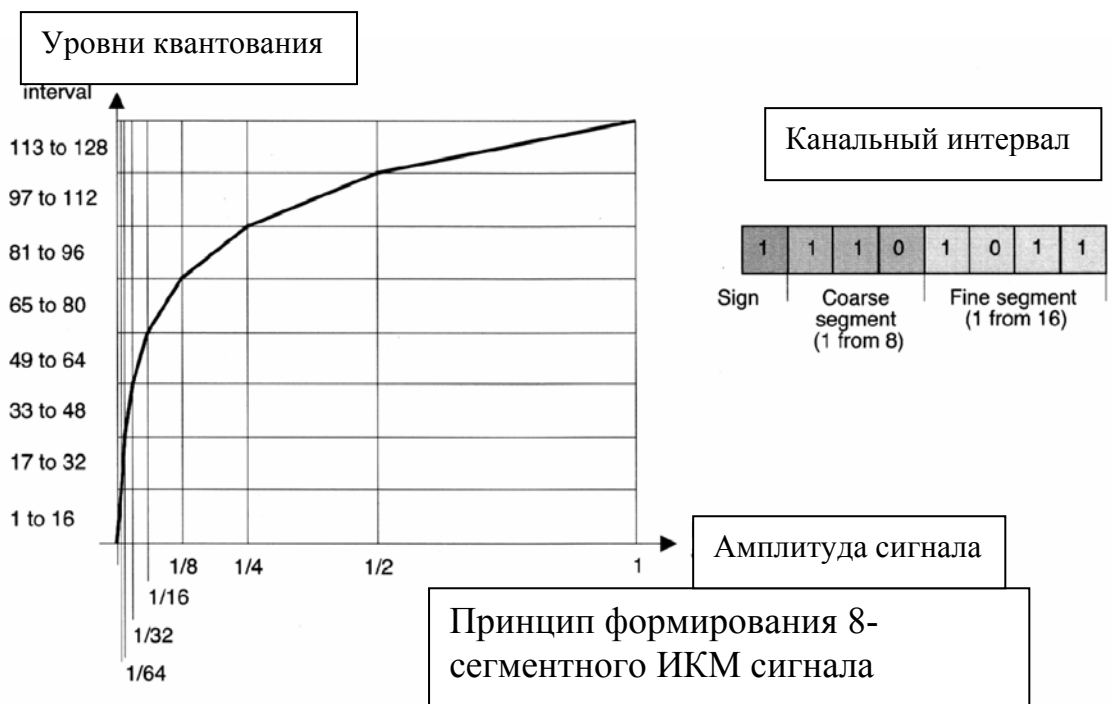


Рис. 2: А-характеристика компрессора.

1. Уровень квантования
2. Полярность.
3. Номер сегмента (от 1 до 8).
4. Уровень квантования внутри сегмента (от 1 до 16)
5. Нормализованная амплитуда

Чтобы минимизировать скорость передачи, число бит, необходимое для кодирования сигнала, необходимо свести к минимуму.

А-характеристика состоит из 8-ми сегментов положительной и, соответственно, 8-ми сегментов отрицательной ветвей, причём два сегмента, примыкающие к нулю, образуют как бы один линейный сегмент. Каждый сегмент делится на 16 уровней квантования, в то время как примыкающий к нулю сегмент имеет как бы 32 уровня. Величина амплитуды сигнала для каждого из сегментов уменьшается в два раза по сравнению с сигналом расположенного выше сегмента.

А-характеристика имеет 128 градаций в положительной, и столько же - в отрицательной ветвях. В этом случае для обозначения 256 градаций уровня сигнала достаточно 8 бит.

Эксперименты показали, что при линейной характеристике кодирования для получения такого же качества передачи необходимо обеспечить распознавание около 4000 градаций уровня. Соответствующая такой величине пропускная способность линии оказывается слишком высокой и, соответственно, экономически невыгодной.

Амплитуда исходного сигнала ограничивается так же, как и его частота. В результате, все системы передачи, использующие ИКМ, в отличие от аналоговых систем, характеризуются отсутствием области перегрузки.

Нелинейное квантование, использующее восьмиразрядное кодирование, позволяет обеспечить *соотношение сигнал/шум*, приближающееся к **40 дБ**. Эта величина остаётся

практически постоянной для широкого диапазона амплитуд, что позволяет осуществить компрессию речевого сигнала даже при высоком уровне помех.

Использование восьмиразрядного кодирования определяет скорость передачи цифрового сигнала при ИКМ преобразовании исходного стандартного аналогового канала ГЧ. Эта скорость равна 64 кбит/с.

Канал передачи цифровой информации со скоростью передачи 64 кбит/с получил название основного цифрового канала (ОЦК).

Соответственно, *тактовая частота ОЦК* будет равна 64 кГц.

Отсчёты ряда каналов собираются вместе в рамках временного спектра цифрового сигнала. На приёмном конце линии импульсы отсчётов разделяются и поступают на фильтры нижних частот. При этом достаточно точно воспроизводится исходный аналоговый сигнал. Абонентские стыки современных мультиплексов используют интегральные микросхемы высокой степени интеграции (СБИС), позволяющие одновременно формировать ряд ИКМ сигналов.

Одним из наиболее важных факторов, определяющих качество передачи звукового сигнала, является соотношение сигнал/шум. Оно определяется формулой

$$A = 10 \log (S/N) \text{ дБ} \quad (2.1)$$

Отношение сигнал – шум (S/N), ширина полосы (B) и пропускная способность канала (C) связаны между собой формулой Шеннона:

$$C = B \times 10 \log (1+S/N) \quad (2.2)$$

Ценным качеством ИКМ является то, что сохраняется возможность неискажённой передачи даже при малом соотношении сигнал-шум, а также то, что появляется возможность расширения полосы частот абонентского сигнала.

Для работы аналоговых систем передачи необходимо обеспечить соотношение сигнал-шум, лежащее в пределах от 40 до 50 дБ.

В то же время величина этого соотношения, равная 15 - 19 дБ, достаточна для получения адекватного качества ИКМ канала. При ИКМ преобразовании широкополосных аналоговых сигналов (каналов радиовещания или видеосигналов) возможна следующая альтернатива: или необходимо увеличить число уровней квантования и, тем самым, увеличить скорость передачи указанного канала (это самый распространённый вариант организации передачи), или при сохранении стандартной скорости передачи ОЦК пойти на заведомое ухудшение качества передачи.

Методы компрессии речевого сигнала

В настоящее время для того, чтобы уменьшить стоимость каналов телефонной связи, практикуется уменьшение скорости передачи канала ГЧ в цифровой форме до величины, меньшей 64 кбит/с. В этом случае при сохранении типовых значений скорости передачи группового цифрового сигнала и, соответственно, стоимости группового линейного оборудования, увеличивается пропускная способность группового тракта. Соответственно, уменьшаются удельные расходы на один канал.

Скорость передачи речевого сигнала, преобразованного в цифровую форму, можно уменьшить путём компрессии сигнала на стадии его аналого-цифрового преобразования. Этот процесс не должен приводить к потере индивидуальных особенностей (тембра) речи абонента. Нижний предел преобразования сигнала определяется моментом приближения задержки сигнала к критическому значению. При высокой степени компрессии задержка тонального сигнала при его передаче может достигать 100 мс в отличие от задержки,

равной 125 мкс, которая возникает при ИКМ преобразовании аналогового сигнала в цифровой со скоростью передачи 64 кбит/с.

В таблице 1 даны основные сведения о различных вариантах компрессии.

Табл. 1

Способ Кодирования	Скорость передачи	Стандарт	Область применения
ИКМ	64 кбит/с	ITU-T G.711	Телефонные сети
АДИКМ	32 кбит/с	ITU-T G.726	Телефонные сети со сжатием речи
LD-CELP	16 кбит/с	ITU-T G.728	Цифровые радиотелефоны
RPE-LPC	13 кбит/с	ETSI GSM	Цифровые сотовые радиотелефоны
VSELP	5,6 кбит/с	ETSI GSM 0,5 скорости	Цифровые сотовые радиотелефоны

Адаптивная дифференциальная импульсно-кодовая модуляция (АДИКМ)

Адаптивная дифференциальная импульсно-кодовая модуляция (АДИКМ) базируется на свойстве речевого сигнала в силу его гармонического характера незначительно (в пределах нескольких бит) менять значение каждого последующего опробования при его оцифровке. Поэтому появляется возможность предсказывать величину каждого следующего опробования, и передавать только разницу между реальной и предсказанной величинами опробований.

ИКМ и АДИКМ реализуют принцип кодирования аналогового сигнала. Более высокую степень сжатия можно получить, используя лингвистические методы. Такие параметры человеческой речи, как амплитуда, частота и число слогов моделируются, и полученные результаты передаются в виде блоков информации. Алгоритм преобразования может оптимизироваться также и в случае первоначального кодирования сигнала путём ИКМ. В этом случае сигнал ИКМ может быть преобразован в сигнал АДИКМ чисто цифровыми методами. В 1995 г. МСЭ-Т выпустил рекомендацию G.723, содержащую общие стандарты компрессии речевого сигнала. В настоящее время указанные методы компрессии позволяют передавать канал ТЧ в цифровой форме со скоростями до 4 кбит/с при сохранении удовлетворительного качества речи. При этом следует помнить, что использование способов передачи, снижающих её скорость, в то же время приводит к значительному увеличению величины задержки сигнала и уровня шумов квантования. Известно, с какими трудностями сталкиваются операторы связи при попытке использовать каналы АДИК для передачи факсимильных сообщений.

2.2. Формирование первичного цифрового потока (E1)

Не нуждается в развёрнутом доказательстве тезис, что рентабельность систем связи в значительной мере определяется количеством цифровых и телефонных каналов, передаваемых по групповым трактам.

Мультиплексоры цифровых сигналов объединяют ряд цифровых каналов в большие блоки, образуя иерархию ЦСП, то есть совокупность цифровых систем передачи, позволяющую объединять или разделять цифровые потоки с стандартизованными скоростями и пропускными способностями в рамках единой цифровой сети.

Большая часть ЦСП базируется на формировании основного цифрового канала (ОЦК) со скоростью передачи 64 кбит/с.

В соответствии с европейским стандартом формирования иерархии ЦСП, 30 ОЦК объединяются, образуя цифровой поток со скоростью передачи 2048 кбит/с, получивший название первичного цифрового потока, который обозначается, как E1 или 2М. 4 потока 2 Мбит/с мультиплексируются, образуя на следующем уровне иерархии вторичный цифровой поток E2 или 8М со скоростью передачи 8448 кбит/с. Далее этот процесс повторяется дважды, причём формируются цифровые потоки 34368 кбит/с (E3 или 34М) и 139264 кбит/с (E4 или 140М).

Совокупность ЦСП, работающих с указанными выше величинами пропускных способностей и скоростей передачи групповых сигналов, получила название *плезиохронной цифровой иерархии (ПЦИ или PDH)*. Характерной особенностью указанного метода цифрового группобразования является некрatность скоростей передачи на различных ступенях иерархии, обусловленная тем, что за исключением формирования сигнала E1 на остальных ступенях иерархии мультиплексируются сигналы различных источников (систем передачи или цифровых электронных АТС), скорости передачи и, соответственно тактовые частоты которых различаются в пределах нормированных величин разбросов номиналов частот их генераторного оборудования. Отклонение скорости передачи от нормированной величины 2048 кбит/с может достигать величины, превышающей $\pm 50 \times 10^{-6}$, что составит примерно ± 100 бит/с. Поэтому для того, чтобы избежать проскальзываний, которые могут привести к потерям передаваемой информации, в указанных системах передачи используется *метод уравнивания скоростей* или *стаффинга*. При стаффинге в составе группового сигнала передаётся ряд дополнительных битов, предназначенных для уравнивания скоростей. Кроме того, в групповые сигналы высших ступеней иерархии вводятся каналы постанционной служебной связи и дистанционного контроля аппаратуры. В настоящее время при сохранении основных положений рекомендации МСЭ-Т G.702, регламентирующих формирование плезиохронной цифровой иерархии, групповые сигналы высших ступеней могут формироваться, минуя промежуточные этапы формирования. Так, например, цифровой поток 34 Мбит/с может прямо формироваться из 16 цифровых потоков 2 Мбит/с.

Современные универсальные узлы доступа магистральных сетей формируются на базе стыков 2 Мбит/с.

Например, для ЦСИО (ISDN), стык S (PRA) 2 Мбит/с является связующим звеном между магистральной сетью и цифровой УАТС или локальной сетью. Он же связывает пользователей GSM в мобильных цифровых сетях. Стык E1 является самым массовым стыком компонентных сигналов синхронной цифровой иерархии, более подробно об этой иерархии рассказывается в разделе 7 данной книги. С помощью стыка E1 организуется связь между сетями конкурирующих операторов, поэтому в случае возникновения конфликтов при поиске неисправностей в сетях необходимо обеспечить оперативное измерение основных параметров передачи указанного стыка. Ниже в главе 12 мы рассмотрим технику измерений параметров этого потока.

Структура цикла сигнала 2 Мбит/с

На рис 4 показана стандартная структура цикла сигнала 2 Мбит/с, определённая рекомендацией МСЭ-Т G.704.

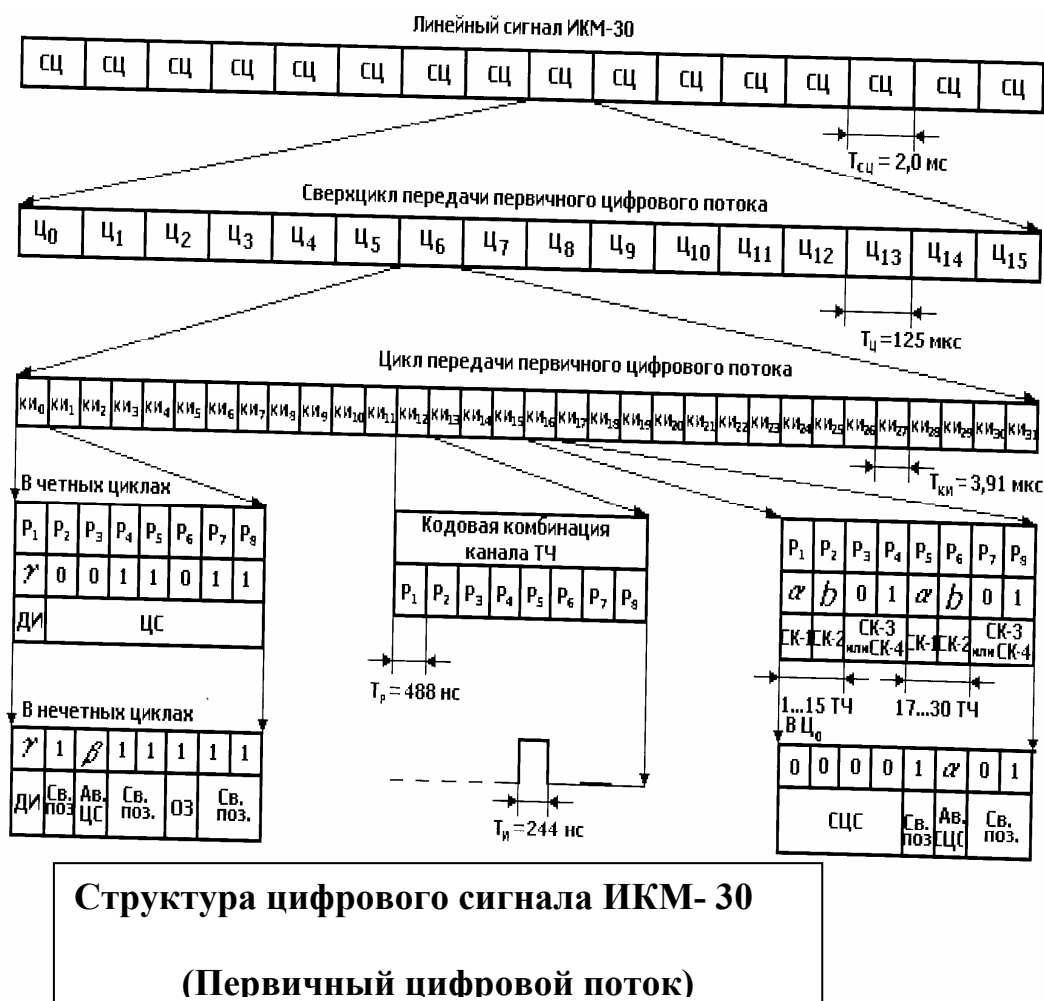


Рис. 4: Структура цикла сигнала 2 Мбит/с.

Цикл сигнала E1 состоит из 30 временных интервалов, соответствующих каналам 64 кбит/с, (так называемых **канальных интервалов**, или КИ) и двух добавочных вспомогательных канальных интервалов, содержащих сигналы синхронизации и телефонную сигнализацию (канальные интервалы 0 и 16). **Цикл содержит 256 бит и повторяется каждые 125 мкс (соответственно, частота следования циклов равна 8 кГц)**. Таким образом, время передачи каждого канала равно $125 \text{ мкс} / 8 = 3,906 \text{ мкс}$. Нулевой канальный интервал попеременно содержит или не содержит сигнал цикловой синхронизации (ЦС). Соответственно, он обозначается, как FAS (с ЦС) или NFAS (без ЦС). Сигнал 2 Мбит/с можно считать простейшим протоколом цифрового сигнала. NFAS передаётся во всех нечётных, а FAS во всех чётных циклах.

В качестве **сигнала цикловой синхронизации** используется семиразрядная кодовая комбинация **0011011**, являясь в этом случае как бы “флагом”, обозначающим начало пакета цифровой информации длиной 32×8 бит. Для того чтобы оборудование демультиплексирования группового сигнала вошло в режим цикловой синхронизации, то есть правильно идентифицировало появление ЦС в составе группового сигнала и обеспечило бы распознавание и разделение каналов на приёме, необходимо, чтобы сигнал цикловой синхронизации был им принят 4 раза подряд с интервалом в 250 мкс.

NFAS выполняет функции передачи так называемых битов S, которые последовательно структурируются в качестве минипротокола, обеспечивающего дополнительный мониторинг ошибок и позволяющего передавать дополнительную служебную информацию по групповому тракту. Кроме того, третий и четвёртый биты NFAS предназначены для передачи сигналов аварии оконечного мультиплексорного оборудования. Таким образом, можно организовать надёжную обратную связь между передатчиком и приёмником информации, служащую для обнаружения их неисправностей. В сигнале, не содержащем цикловую синхронизацию, бит $A = 1$ означает полную аварию, а бит $S = 0$ - неполную аварию.

16-ый канальный интервал (КИ) служит для передачи *сигналов управления и взаимодействия коммутационного оборудования (СУВ)* при работе в сети. В каждом цикле в 16-ом КИ передаются СУВ, соответствующие двум абонентским каналам (1 и 16, 2 и 17, 3 и 18, и т.д.). Поэтому для передачи всех СУВ, соответствующих 30 информационным каналам, необходимо использовать 15 циклов. В свою очередь, для того, чтобы обеспечить необходимое распознавание СУВ различных каналов, нужно соответствующим образом промаркировать указанные 15 циклов, для чего в состав группового сигнала перед циклом, содержащим в 16-ом КИ СУВ 1-ого и 16-ого каналов, включается цикл, содержащий в 16-ом КИ сигнал сверхциклового синхронизации (СЦС). Указанные 16 циклов образуют *сверхцикл*, содержащий *4096 бит* информации. *Длительность сверхцикла соответственно составит 2 мс, а частота следования 0,5 кГц.*

Цикл, не содержащий сигнала цикловой синхронизации, используют также для передачи элементарной информации, могущей выполнять функции «посредника», в частности на сетевых стыках. Другими словами, он обеспечивает передачу информации о неисправностях на стороне абонента или оператора сети при помощи так называемых Sa битов. Таким образом, он помогает выяснить, кто отвечает за поиск неисправности или кто несет материальную ответственность в случае ее появления.

Если для мониторинга системы передачи использовать NFAS, то биты от Sa5 до Sa8 используются в составе сверхцикла для передачи короткого 4-битового сигнала контроля первичных мультиплексоров. Биты Sa могут применяться для передачи команд от АТС до сетевых абонентских стыков. Их можно также использовать для передачи сигналов аварии от первичных мультиплексоров до коммутационного узла в случае полного выхода из строя оборудования (например, пропадания электропитания). Скорость передачи бит Sa равна 4 кбит/с. Другой функцией NFAS является организация аварийной сигнализации.

МСЭ-Т определяет два типа сигналов аварии. Биты S_{A3} служат для передачи так называемой «срочной» аварийной сигнализации (индикация аварии удаленной станции или RDI). Биты S_{A4} служат для передачи несрочной аварийной (или предупредительной) сигнализации.

Если дальнейшая передача невозможна, то есть коэффициент ошибки группового сигнала превышает величину 10^{-3} , выходят из строя кодеки или блоки питания, или входящий сигнал E1 (2048 Мбит/с) выходит из синхронизма, то бит S_{A3} в ряде систем передачи устанавливается в положение «0». Однако следует помнить, что позиция указанного бита, не нормируется, и для некоторых систем передачи и ЦЭАТС авария передаётся «1».

«Несрочная» аварийная или предаварийная сигнализация передается в случае превышения коэффициентом ошибок величины 10^{-6} . Существующие технические требования на отечественное оборудование систем передачи обозначают предаварийное состояние оборудования при величине коэффициента ошибок, равной 10^{-5} . Следует учитывать, что уровень коэффициента ошибок, установленный для предаварийной сигнализации, может быть изменен при помощи системы управления мультиплексора. При превышении установленного уровня каналы, по которым передаются большие

объемы цифровой информации или компрессированные телефонные каналы (например, в системах мобильной связи), отключаются или переключаются на резервные.

2.3. Передача информации по цифровым каналам и трактам. Гибкие мультиплексоры.

Структурная схема системы передачи 2 Мбит/с

Сигналы 2 Мбит/с передаются по металлическим кабелям, оптическим волокнам, радиорелейным и спутниковым линиям. В отличие от мультиплексоров, типы функциональных узлов линейного оборудования систем передачи зависят от выбранного метода передачи.

На рис. 5 показаны два наиболее распространённых варианта построения систем передачи ИКМ-30. На верхнем рисунке показана стандартная система, включающая в себя мультиплексоры, оконечное оборудование линейного тракта и регенераторы. Такой метод мультиплексирования и передачи сигнала может найти применение в магистральных сетях (например, в сетях СЦИ). В нижней части рисунка показан первичный мультиплексор, входящий в состав ЦСИО (ISDN).

В случае передачи цифрового сигнала на значительные расстояния, в состав системы передачи включаются регенераторы. Их функцией является восстановление амплитуды, формы и временных соотношений сигнала, передаваемого по линии с затуханием, лежащим в пределах от 0 до 40 дБ. При построении линии связи на базе медных кабелей электропитание регенераторов организуется дистанционно с оконечного линейного оборудования. Регенераторы должны быть прозрачными для всех передаваемых посылок, включая нули, в отличие от оконечного мультиплексного оборудования и узлов тактовой синхронизации. Если участок регенерации входит в линию, не проходящую через ЦЭАТС, то узел тактовой синхронизации регенератора выделяет хронизирующий сигнал из группового сигнала, поступающего от оконечного оборудования.



EXCH	Digital local exchange
LTE	Line termination equipment (primary rate multiplex)
Clk sync	Network clock feed unit
NT	Network termination (primary rate multiplex)
REG	Regenerator
Central clock	2 MHz timing clock

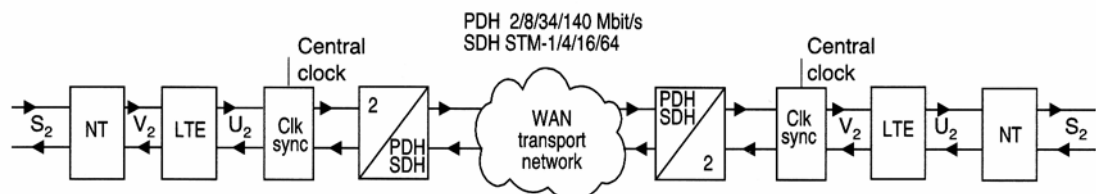


Рис.5: Линия передачи сигнала 2 Мбит/с

EXCH	ЦЭАТС
LTE	Оконечное линейное оборудование
Clk sync	Узел тактовой синхронизации
NT	Сетевой терминал (первичный мультиплексор)
REG	Регенератор

Central clock Генератор сигналов тактовой синхронизации 2МГц

Конверторы сигнализации (на рисунке не показаны) необходимы для приема и передачи сигналов управления и взаимодействия аналоговых АТС и оконечного оборудования. Обычно они входят в состав мультиплексов. По мере повсеместного внедрения ЦЭАТС необходимость в них падает.

Основные операционные параметры и аварийные состояния индицируются на лицевой панели мультиплексора при помощи светодиодных индикаторов и одновременно транслируются на компьютер системы контроля и управления.

Цифровой поток, поступающий на *демультиплексор* оконечного оборудования, в процессе установки соединения маркируется 7-символьным кодовым словом, входящим в состав цикла группового сигнала. После обнаружения указанного кодового слова можно отсчитать следующие 265 бит, то есть полный цикл, и синхропосылка обнаруживается, если второй бит последующего кодового слова (цикла, не содержащего синхросигнала) будет представлять собой «1». В этом случае вторая кодовая комбинация цикловой синхронизации будет обнаружена после прохождения еще 256 бит. При четырёхкратном обнаружении циклового синхросигнала система входит в синхронизм, и можно реализовать процедуру контроля по CRC-4. (См. ниже). Кодовые слова цикловой синхронизации и CRC постоянно отслеживаются в процессе передачи.

Как уже говорилось ранее, выход мультиплексора из синхронизма может произойти, если цикловая синхропосылка не будет принята четыре раза подряд. То же самое может произойти, если более чем 914 отсчетов CRC-4 из тех 1000, которые производятся в течение 1 секунды, не совпадут с исходными. Если коэффициент ошибок при приёме циклового синхросигнала поднимется до величины 10^{-3} , на удаленный конец линии будет передан сигнал аварии.

Аналогично производится синхронизация нетипового мультиплексорного оборудования, такого, как, например, NTPRA или генератора сигнала тактовой синхронизации 2МГц при работе оконечного оборудования в ведомом режиме.

Оборудование гибкого мультиплексирования

В течение последних лет в мире резко возросла потребность в новых видах услуг связи, в частности, в низко-, средне- и высокоскоростных каналах передачи данных при условии оптимального использования пропускной способности цифровых каналов и трактов. Для организации трансляции видеосигналов, высококачественного радиовещания или других видов сигналов передачи данных корпоративных клиентов, требуются каналы ПДИ со скоростью передачи 64 кбит/с и 64хп кбит/с. Эти каналы могут вводиться непосредственно в первичный цифровой поток 2 Мбит/с. Если их скорость передачи меньше 64 кбит/с, но кратна 8 кбит/с, такие сигналы могут вводиться в любой канальный интервал группового сигнала ИКМ-30 методом синхронного ввода. В этом случае в канальном интервале занимается от одного до восьми тактовых интервалов в зависимости от скорости передачи абонентского сигнала. В случае передачи цифровых сигналов со скоростями, равными 64хп кбит/с, они будут занимать п канальных интервалов. Аналогично при передаче сигналов ЦСИО занимается 2 целых КИ и несколько (от 2 до 4) бит в третьем КИ. Аппаратура ПДИ в этом случае синхронизируется сигналами, поступающими от группового оборудования. Структура группового сигнала может гибко изменяться в соответствии с командами управления режимом мультиплексирования. Обязательным требованием к аппаратуре данной категории является то, что гибкие мультиплексоры должны работать в рамках существующей сети наряду с обычным оборудованием ИКМ-30. С другой стороны, они должны оснащаться широкой номенклатурой абонентских интерфейсов, обеспечивающих ввод различных цифровых и аналоговых абонентских сигналов и аналого-цифровое преобразование последних как

при помощи ИКМ, так и АДИКМ. Другим аспектом использования гибких мультиплексоров является необходимость передачи данных со скоростями, не кратными 8 кбит/с. Мультиплексирование таких сигналов возможно только путем их асинхронного ввода в групповой сигнал. В этом случае необходимость уравнивания скоростей приводит к неполному использованию пропускной способности каждого канального интервала, однако, его пропускная способность безусловно будет превышать возможности передачи данных по аналоговым каналам ТЧ при помощи модемов.

Функцией гибких мультиплексоров является также обеспечение работы коммутационных станций различных типов в рамках интегральной цифровой сети. Другими словами, мультиплексоры играют роль конвертеров сигнализации.

И, наконец, возможности гибких мультиплексоров позволяют ставить мультиплексорное оборудование не только в терминальный, но и в транзитный режим. В этом случае на каждом периферийном пункте, оснащенном указанным оборудованием, возможен ввод и вывод ряда аналоговых или цифровых каналов.

Возможность гибкого изменения структуры цикла при неизменности методов цикловой и сверхцикловой синхронизации и работы сервисных подсистем позволяет обеспечить работу групповых трактов в режиме организации конференц-связи, передачи сигналов оповещения, трансляции вещания и т. п., а также кросс-коннект каналов при совместной работе ряда мультиплексоров в рамках одного периферийного пункта или сетевого узла.

В силу перечисленных преимуществ гибких мультиплексоров их можно считать наиболее перспективной категорией оборудования формирования первичного группового сигнала, позволяющего строить распределительные системы передачи, обеспечивающие оперативное изменение абонентской емкости каждого узла и номенклатуры абонентских сигналов. В этом случае сеть широкополосного цифрового доступа может строиться на основе гибких мультиплексоров, размещаемых на ее узлах.