

4.3. Регенерация цифрового сигнала.

Согласно общепринятому мнению, основным преимуществом цифровых систем передачи является независимость качества передачи от длины линии. На самом деле, протяжённость цифровой линии, в конечном счёте, всё же ограничивается постепенным накоплением ошибок в передаваемом сигнале. Но, тем не менее, предельная протяжённость цифровых линий и трактов несравненно выше, чем у аналоговых линий, имеющих сравнимую с ними пропускную способность. Указанное преимущество реализуется благодаря тому, что на каждом этапе переприёма (ретрансляции) цифрового сигнала представляется возможным помимо его усиления до нормированной величины обеспечить восстановление его формы и временных соотношений. Этот процесс получил название *регенерации*, а устройства, его реализующие, принято называть *регенераторами*. (Иногда в литературе встречается не совсем удачный термин «репитеры»). Как правило, регенератор обеспечивает также ряд дополнительных функций, таких как контроль качества передачи, электропитание, служебная связь, аварийная сигнализация.

Условно можно разделить *комплекс факторов, воздействующих на сигнал* при его распространении по линии связи и, тем самым, влияющих на качество передачи, на две категории.

1. Внутренние факторы:

- искажения, вносимые средой передачи;
- межсимвольные помехи;
- нестабильность тактовой частоты системы,
- сбой тактовой синхронизации;
- нестабильность параметров комплектующих изделий и, как следствие, увеличение шумов, вызванное их старением;
- искажения частотной характеристики корректирующего усилителя регенератора;
- колебания напряжения питания;
- джиттер (флюктуации фазы цифрового сигнала) и накопление джиттера при ретрансляции сигнала;

2. Внешние факторы:

- переходные помехи, влияющие на пары кабеля;
- внешние электромагнитные влияния, в том числе воздействие грозовых разрядов;
- колебания температуры и другие климатические факторы;
- механические повреждения при вибрации или ударах;
- деградация характеристик среды передачи (например, старение и заморозка кабелей и т.п.);
- обрыв линии связи или пропадание электропитания, приводящие к полному прекращению прохождения сигнала.

Указанные факторы вызывают ухудшение отношения сигнал-помеха. Даже незначительное изменение этого соотношения может резко ухудшить качество передачи вплоть до создания аварийной ситуации.

Мы уже говорили о том, что передача сигнала по линии связи, состоящей из ряда участков переприёма, неизбежно связана с накоплением шума по мере увеличения числа усилителей. Ограничение длины аналоговых линий в первую очередь связано именно с этим аспектом процесса передачи, так как простое усиление сигнала в заданной полосе частот будет сопровождаться соответствующим усилением помех, лежащих в этой же полосе, пока их уровень не достигнет величины, соизмеримой с уровнем сигнала. Передача цифрового сигнала может быть построена

не на принципе простого его усиления и дальнейшей ретрансляции, а на принципе регенерации сигнала в точках переприёма. Под процессом регенерации принято понимать последовательность операций по распознаванию или обнаружению сигнала, поступающего на фоне помехи с выхода участка линии связи на вход приёмного устройства и восстановления всех его основных параметров. Восстанавливаются амплитуда, форма, интервалы времени и положение отдельных единичных посылок в импульсной последовательности в пределах установленных норм и допусков. Затем осуществляется дальнейшая передача сигнала в линию или на окончательное оборудование. Регенерация позволяет как бы «очистить» сигнал от помех на каждом этапе переприёма и реализовать одно из основных преимуществ цифровой передачи – высокую помехозащищённость. Следует учитывать, что если всё-таки в процессе приёма-передачи сигнала на линии возникает ошибка, то она будет проходить через все регенерационные участки вплоть до окончательного оборудования.

Джиттер, или фазовое дрожание цифрового сигнала, это, по сути дела, модуляция фазы сигнала, вызываемая целым рядом факторов. Количественная оценка джиттера ведётся по двум основным параметрам: амплитуде и частоте, то есть по величине отклонения положения фронтов каждого импульса от среднего значения и частоте, с которой это отклонение происходит. Другой формой определения джиттера может быть дифференциальное значение отклонения частоты следования импульсов от номинального значения. Амплитуда джиттера измеряется как в абсолютных величинах, так и в относительных, то есть в долях тактового интервала цифрового сигнала. Очень медленные изменения фазы принято называть *вандером*. Причинами возникновения джиттера могут быть нестабильность частоты опорных генераторов канало- и группообразующего оборудования, флюктуации частоты узлов тактовой синхронизации регенераторов, использующих фазовую автоподстройку частоты ФАПЧ (об этом более подробно будет сказано ниже), работа схем выравнивания скоростей (стаффинга) группообразующего оборудования, так же использующих ФАПЧ.

Допустимые значения джиттера для систем передачи PDH и SDH нормируются Рекомендациями МСЭ-Т G.823, G.825, G.783 и ГОСТ 26886-86. Нормы на джиттер соотносятся со скоростью передачи цифрового сигнала, то есть со ступенями иерархии ЦСП. Накопление джиттера может, при определённых условиях, привести к появлению ошибок в процессе регенерации сигнала. Вандер может приводить к переполнению буферных устройств приёмников сигнала и, в конечном счёте, к появлению проскальзывания, то есть повторению или, наоборот, исключению группы символов. Проскальзывания, в свою очередь, являются одной из причин нарушения работы цикловой синхронизации.

Высокочастотный джиттер, как правило, до определённой степени подавляется в процессе регенерации. Низкочастотный джиттер, наоборот, имеет тенденцию к накоплению по мере передачи по линии, и, в конечном счёте, подавляется только в окончательном оборудовании.

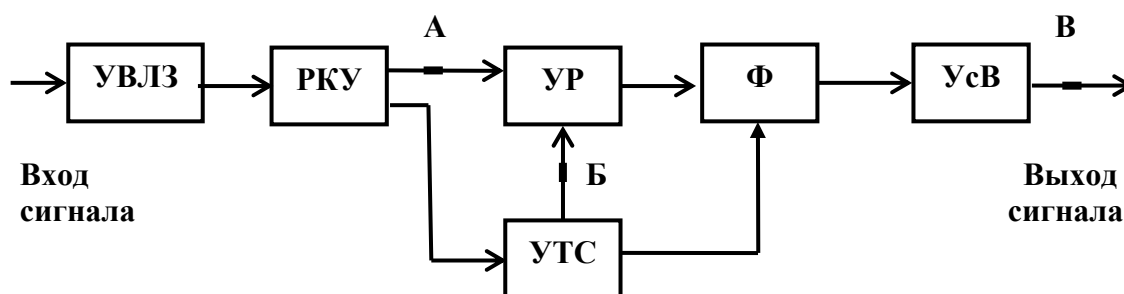
Многие аспекты данного вопроса более подробно излагаются в следующих разделах, посвящённых измерениям джиттера и вандера.

Регенераторы являются самыми массовыми устройствами ЦСП. В зависимости от занимаемого места они получили названия стыковых, обеспечивающих цифровые интерфейсы всех ступеней иерархии, линейных, обеспечивающих ретрансляцию сигнала при его передаче по линии, и окончательных, функциями которых являются восстановление сигнала на окончаниях линии и работа сервисных подсистем. Так, например, все мультиплексоры-демультиплексоры соединяются с другими функциональными узлами ЦСП при помощи регенераторов различной степени сложности.

Несмотря на многообразие назначений, и мест, занимаемых в аппаратном комплексе систем передачи, структурные схемы регенераторов сводятся к нескольким типовым вариантам. Наиболее распространённым вариантом функциональной схемы, используемой как в линейных, так и в оконечных и стыковых регенераторах, является схема, получившая название *регенератора с самохронированием и выделением интервалов времени* из информационного сигнала.

Структурная схема регенератора показана на рис. 17. В дальнейшем мы будем рассматривать процесс регенерации и работу схемы регенератора применительно к самым распространённым квазитроичным цифровым сигналам. Сразу надо сказать, что в качестве линейных сигналов в гораздо большей степени используются многоуровневые сигналы, о которых подробно говорилось выше. Вместе с тем, излагаемые далее принципы регенерации остаются одними и теми же, как для трёхуровневых, так и для многоуровневых сигналов, различие только в конкретных схемотехнических решениях. Конечно, существуют и более сложные методы и схемы, но мы в рамках данной книги рассматриваем один из самых простых и самых распространённых вариантов построения регенератора.

Функциональные узлы регенератора условно делятся на аналоговую (УВЛЗ, РКУ, УТС) и цифровую (УР, Ф, УсВых) части. Такое деление отражает функции перечисленных узлов: усиление и фильтрацию в РКУ и УТС и выделение сигнала на фоне помехи и его последующее формирование в соответствии с заданным алгоритмом в УР, Ф и УсВых. Вместе с тем, деление по указанному принципу нельзя считать абсолютным, так как, например, в состав УТС входят как аналоговые, так и цифровые функциональные элементы.



УВЛЗ – устройство ввода линии и защиты

РКУ - регулируемый корректирующий усилитель (в технической литературе часто встречается другое название РКУ - корректор)

УР - устройство решающее

УТС - устройство тактовой синхронизации

Ф - формирователь группового линейного или стыкового сигнала

УсВ - усилитель выходной

Рис. 17: Структурная схема регенератора цифрового сигнала

С выхода регенерационного участка кабеля (или иной среды передачи) сигнал поступает на УВЛЗ, функцией которого является согласование входного сопротивления регенератора и волнового сопротивления кабеля. Известно, что рассогласование сопротивлений является причиной частичного отражения сигнала. Отражённый сигнал, складываясь с импульсным сигналом, передаваемым по кабелю в прямом направлении, в конечном счёте, приводит к искажению и ослаблению сигнала на входе регенератора, что недопустимо. Другой важной функцией УВЛЗ является обеспечение защиты схемы регенератора от опасных и мешающих влияний, то есть наводимых в кабеле токов и напряжений, могущих вывести из строя схему

регенератора или серьезно нарушить его работу. К таким влияниям в первую очередь, как уже отмечалось выше, следует отнести электромагнитные импульсы (ЭМИ) грозовых разрядов и аналогичные им ЭМИ техногенного характера, а также наводки промышленной частоты от линий электропередачи, электрифицированных железных дорог или технологического оборудования. Более подробно все аспекты защиты рассматриваются в главе 8. ЭМИ различного происхождения могут вызвать пробой n - p переходов в полупроводниковых структурах, входящих в состав схемы регенератора. Наводки промышленной частоты могут проходить по цепям электропитания и вызвать паразитную амплитудную модуляцию сигнала, нарушающую нормальную работу регенератора.

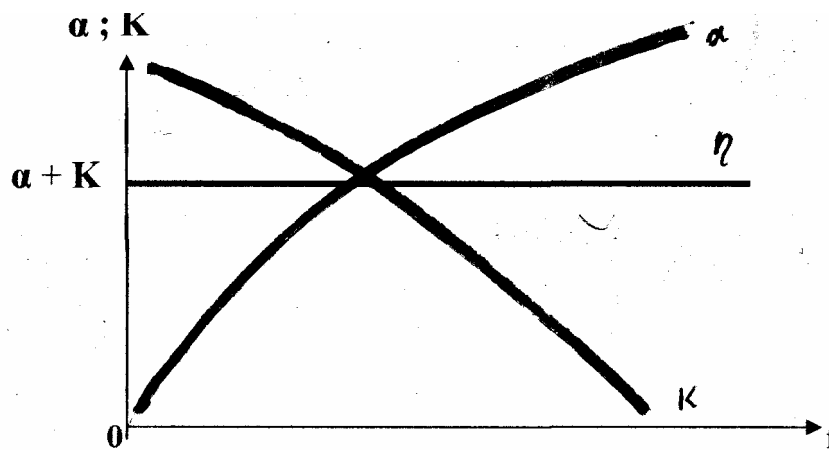
С выхода УВЛЗ сигнал поступает на вход РКУ. Основными функциями РКУ являются:

- частичная компенсация искажений формы сигнала, вызванных характером АЧХ кабеля;
- оптимизация формы импульсов с целью обеспечения наилучшего соотношения сигнал-помеха;
- усиление линейного сигнала до уровня, обеспечивающего стабильную работу последующих функциональных узлов регенератора;
- компенсация разброса затухания сигнала. Причинами такого разброса являются, как известно, разброс длин регенерационных участков при их привязке к местности, разброс параметров кабелей в пределах технологических допусков, сезонные изменения параметров при изменении температуры окружающей среды, изменения параметров вследствие старения кабелей, а также возможное изменение затухания при ремонте или реконфигурации регенерационного участка кабеля.

Для реализации указанных функций в состав РКУ включается устройство автоматической регулировки усиления (АРУ) и цепи низкочастотной (НЧ) и высокочастотной (ВЧ) коррекции АЧХ усилителя.

Оптимальная величина коэффициента усиления РКУ определяется, в первую очередь, величиной максимально допустимого затухания регенерационного участка линии передачи цифровой информации при наличии наилучшего соотношения сигнал-помеха на выходе РКУ. Это соотношение, в свою очередь, обуславливает оптимальный режим работы решающего устройства.

Частотная характеристика корректора однозначно определяет форму и амплитуду видеоимпульсов на его выходе. Известно, что для полного восстановления амплитуды и формы прямоугольного импульса требуется усилитель с практически бесконечно большой шириной полосы пропускания. Если АЧХ усилителя будет иметь форму, обратную АЧХ кабеля, (см. рис. 18), то результирующая сложения этих характеристик (другими словами, сквозная характеристика «кабель-корректор») будет представлять собой прямую линию, параллельную оси частот, что соответствует бесконечно широкой полосе усиления.



α – АЧХ кабеля;
 K – АЧХ корректора;
 $\alpha + K$ – результирующая сквозная АЧХ «кабель – корректор»;
 f – частота.

Рис. 18: АЧХ кабеля, усилителя и сквозная АЧХ «кабель – корректор»

Естественно, что схемотехническая реализация подобного решения является очень сложной, точнее, практически невозможной. Кроме того, известно, что увеличение ширины полосы пропускания неизбежно ведёт к увеличению уровня высокочастотных помех и, в конечном счёте, к ухудшению соотношения сигнал-шум. Однако излишнее сужение полосы пропускания корректора приведёт к искажению формы (увеличению длительности переднего и заднего фронтов) импульсов по сравнению с исходным прямоугольным импульсом. Следовательно, необходимо найти некоторую оптимальную АЧХ корректора, обеспечивающую формирование такого выходного сигнала РКУ, который отличался бы по возможности малыми межсимвольными влияниями. Оптимальной формой импульса на выходе РКУ является так называемый «приподнятый косинус» ($\text{Cos}x/x$), иначе называемый колоколообразным импульсом. Длительность такого импульса по уровню 0,1 равна при этом двум тактовым интервалам, а длительность по уровню 0,5 – одному тактовому интервалу. (Следует помнить, что в исходном цифровом сигнале длительность прямоугольного импульса равна 0,5 тактового интервала, и длительность защитного интервала между импульсами также составляет 0,5 тактового интервала). В этом случае межсимвольные влияния можно свести к величине, достаточной для обеспечения правильного восстановления сигнала в цифровой части регенератора. Помимо формирования оптимальной формы импульса существенным моментом процесса коррекции является также обеспечение оптимальной формы переходных процессов («хвостов импульсов») на выходе РКУ.

Схемотехническая реализация этих решений сводится к организации завала АЧХ корректора, начиная с частоты, равной половине тактовой. Плавное уменьшение коэффициента усиления производится в масштабе 6 дБ на декаду.

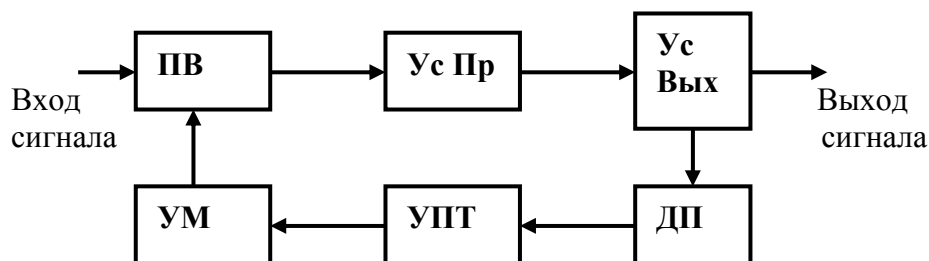
Оптимальная форма и длительность переходных процессов обеспечивается низкочастотной коррекцией, которая сводится к незначительному подъёму усиления корректора в области нижних частот АЧХ корректора. Для этого требуется выбрать соответствующие номиналы переходных емкостей между каскадами и параметры входного и выходного трансформаторов регенератора.

Другой функцией РКУ является компенсация разброса затухания регенерационного участка линии. Схема автоматической регулировки усиления РКУ

строится на базе так называемых переменных выравнивателей, то есть активных или пассивных четырехполюсников с характеристиками, соответствующими АЧХ регенерационных участков с затуханием, лежащим в пределах, рассчитанных для данной системы передачи. Исполнительными устройствами переменных выравнивателей наряду с реактивными элементами частотной коррекции являются элементы, управляемые током или напряжением.

Структурная схема РКУ показана на рис. 19, АЧХ корректора в рамках работы АРУ – на рис. 20. На рис. 20 представлены характеристики АЧХ РКУ для максимальной (1), номинальной (2) и минимальной (3) длины регенерационного участка. Площади, ограниченные кривыми 1, 2 и 3, равны между собой и определяются, как эквивалентная площадь усиления.

Величина динамического диапазона АРУ корректора ограничивается в соответствии с техническими характеристиками его исполнительных элементов и выбранными схмотехническими решениями. Например, для всё ещё широко используемых отечественных и импортных первичных сельских и пригородных ЦСП динамический диапазон АРУ линейных и оконечных регенераторов лежит в пределах от 0 дБ до 45 дБ, для ЦСП ГТС – от 6 дБ до 36 дБ, для станционных первичных стыков – от 0 дБ до 6 дБ. В ЦСП ИКМ-120 и ИКМ-480, в которых нашли применение в качестве исполнительных элементов «сверхрезкие» варикапы, динамический диапазон усиления РКУ составляет 56 дБ – 65 дБ. Схмотехнические решения современных регенераторов используют для этих же целей микропроцессоры.



- ПВ – переменный выравниватель
- Ус Пр – предварительный усилитель
- Ус Вых – выходной каскад усилителя
- УМ – усилитель мощности
- УПТ – усилитель постоянного тока
- ДП – пиковый детектор

Рис. 19.3: Структурная схема РКУ

Как уже говорилось выше, в результате частичной коррекции формы сигнала на выходе РКУ должна быть сформирована последовательность колоколообразных импульсов с нормированной амплитудой и формой.

Сигнал с выхода РКУ поступает на два узла: решающего устройства и тактовой синхронизации. Задачей **решающего устройства** является распознавание цифрового сигнала на фоне смеси сигнала и помехи на каждом тактовом интервале. УР является пороговым устройством. При превышении текущей амплитуды сигнала установленного порога, сигнал интерпретируется, как «1», если же уровень сигнала опускается ниже порога, то сигнал интерпретируется, как «0». Выбор величины порога, равной 0,5 величины амплитуды сигнала на входе УР (то есть на выходе РКУ), позволяет исключить воздействие помехи, уровень которой не превышает 0,5 уровня сигнала. Другими словами, допустимое отношение сигнал/шум в точке решения УР будет равно 6 дБ. Следует отметить, что отношение сигнал/шум, нормируемое при

расчётах параметров участка регенерации, будет существенно большим для отдельно взятых типов помех. В данном примере рассматривается определение мгновенного значения соотношения сигнал/шум, где шум является суммой всех видов помех, воздействующих на вход регенератора. Для того чтобы исключить из процесса распознавания позиции сигнала работу на краях тактовых интервалов, где уровень колоколообразного сигнала лежит в непосредственной близости к величине порога или вообще ниже порога, работа порогового устройства разрешается только в середине каждого тактового интервала в интервале времени, не превышающем 0,2 от длительности тактового интервала. Такой алгоритм работы УР позволяет не только оптимизировать режим распознавания позиции сигнала, но и по возможности ослабить воздействие мультипликативных помех, приводящих к дроблению импульсов. Поэтому оптимальным схемотехническим решением УР является пороговая схема совпадений, управляемая сигналом тактовой синхронизации.

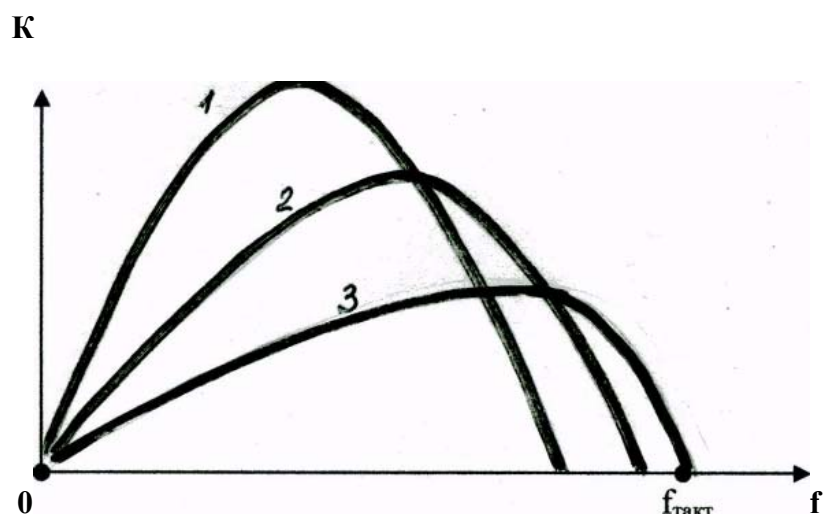


Рис. 20: Характеристики наклонной АРУ.

При регенерации многоуровневого сигнала схема УР усложняется, однако принцип действия остаётся прежним. При восстановлении квазитроичных сигналов последовательности импульсов «+1» и «-1» разделяются, и решения принимаются отдельно по каждой из них. В этом случае на выходе УР будут формироваться две импульсные последовательности, соответствующие «+1» и «-1» квазитроичного сигнала, которые затем должны поступить на узел формирователя (Ф).

Устройство тактовой синхронизации УТС (в литературе встречаются также такие наименования, как «устройство выделения временных интервалов ВВИ» или «устройство выделения тактовой частоты УВТЧ»), предназначено для формирования последовательности стробирующих импульсов с частотой следования, равной тактовой частоте системы передачи, поступающих затем на соответствующий вход решающего устройства. Известно, что в спектре стыковых и линейных сигналов большинства ЦСП отсутствует составляющая тактовой частоты. Поэтому в состав УТС необходимо включить узел нелинейного преобразования сигнала, позволяющий изменить его спектр. Простейшим вариантом такого узла может быть двухполупериодный выпрямитель. Выпрямленный сигнал далее ограничивается по минимуму с целью увеличения уровня составляющей тактовой частоты. Физический

смысл этой операции состоит в исключении воздействия переходных процессов, когда на выделитель тактовой частоты поступают только «макушки» импульсов. После преобразования сигнал поступает на фильтр-выделитель тактовой частоты, в качестве которого используется параметрический или кварцевый фильтр или цифровой фильтр на базе кварцевого генератора с фазовой автоподстройкой частоты. Качество и правильный выбор схемы узла фильтрации во многом определяют качество работы регенератора. Фильтры, построенные на базе обычных колебательных контуров, просты в производстве и недороги, но характеризуются нестабильностью параметров, а также, в силу относительно невысокой добротности, больше подвержены действию помех, лежащих в полосе пропускания РКУ и попадающих на вход узла тактовой синхронизации. Кварцевые или пьезокерамические фильтры свободны от указанных недостатков. Однако относительно высокая стоимость сдерживает их широкое распространение. Наиболее часто встречающимся вариантом построения схемы УТС является схема, использующая принцип фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Она строится на базе генератора, стабилизированного герметизированным кварцевым резонатором. Такие схемы просты в изготовлении и настройке, недороги, но при работе с сигналом, включающим в себя большие серии нулей (например АМІ), не обеспечивают должной стабильности фазы стробирующих импульсов, становясь причиной возникновения фазовых флюктуаций восстанавливаемого сигнала. Выделенное фильтром или сформированное генератором с ФАПЧ гармоническое колебание затем преобразуется в последовательность стробирующих импульсов, которые поступают на устройство фазирования, задачей которого является размещение стробирующих импульсов в середине каждого тактового интервала. Такое размещение позволяет оптимизировать процесс распознавания позиции цифрового сигнала, которое будет происходить в те моменты, когда мгновенное значение сигнала имеет максимальную величину.

Формирователь Ф формирует цифровой сигнал в соответствии с алгоритмом, принятым для данного цифрового стыка или линейного тракта.

С выхода формирователя сигнал поступает на **выходной усилитель**, основной функцией которого является обеспечение амплитуды и формы импульсов, соответствующих техническим требованиям на данный стационарный или линейный стык. В состав выходного усилителя необходимо также включать, в случае необходимости, устройства защиты выходных цепей регенератора от опасных и мешающих влияний.

Структурную схему, которую мы рассмотрели выше, можно назвать примером типового варианта регенератора. Такой вариант в настоящее время является наиболее распространённым, как в ЦСП, работающих по металлическим кабелям, так и в ВОЛС. Регенераторы различных ЦСП на всех ступенях иерархии отличаются при этом, в основном, только выбором элементной базы и вариантами схемотехнических решений отдельных узлов. Вместе с тем, существует множество возможностей дальнейшего совершенствования принципов и, соответственно, дальнейшего развития и совершенствования аппаратуры приёма и передачи цифрового сигнала. Назовём только некоторые из них.

- Использование эхоподавителей, позволяющих улучшить соотношение сигнал/помеха на входе регенератора.
- Использование квантованной обратной связи, также приводящей к улучшению соотношения сигнал/помеха.
- Использование так называемого дубинарного приёма, который обеспечивает сужение полосы усилителя-корректора. Такое сужение улучшает условия приёма цифрового сигнала за счёт компенсации «растягивания» импульсов, правда, при этом оказывается необходимым усложнить схему решающего устройства путём введения в его состав устройства запоминания.

- Работа с многоуровневыми сигналами, спектр которых сдвинут в область низких частот, где меньше затухание сигнала. В этом случае широко используется амплитудно-фазовая манипуляция, о которой подробно рассказывалось в предыдущих разделах.

- Многократное повторение передачи информационного сигнала с последующим многократным статистическим выделением его на фоне шумов с помощью узкополосной фильтрации. Этот метод получил название когерентного приёма, и он позволяет эффективно принимать сигналы, уровень которых сопоставим с уровнем сопутствующих шумов.

Целью внедрения перечисленных методов является, в первую очередь, улучшение помехозащищённости и увеличение длины регенерационных участков. В волоконно-оптических системах передачи перспективным направлением представляется использование квантовых усилителей, в которых световые сигналы восстанавливаются без их обязательного преобразования в электрические с последующим повторным формированием оптического сигнала. Операторам связи надо быть готовым к таким технологическим прорывам, которые потребуют пересмотра многих устоявшихся стереотипов в подходе к строительству, пуско-наладке и эксплуатации ЦСП.

Анализ схемотехнических и системных решений регенераторов цифрового сигнала показывает, что в их состав входят как аналоговые (РКУ, фильтр-выделитель тактовой частоты), так и цифровые узлы. Находящиеся в настоящее время в эксплуатации и внедряемые в эксплуатацию регенераторы отличаются многообразием, как схемных решений, так и выбором элементной базы для их реализации. Однако магистральным направлением разработки и производства следует считать выпуск регенераторов в виде интегральных микросхем с ограниченным количеством дополнительных навесных элементов. Наиболее перспективным представляется использование так называемых гетероструктур, то есть электронных приборов, использующих, помимо привычных кремния и германия, материалы сложного химического состава. Применение интегральных микросхем регенераторов тесно связано с использованием передовых технологий монтажа, таких, как поверхностный монтаж. Всё это позволяет значительно повысить надёжность работы аппаратуры. Вместе с тем, использование больших интегральных микросхем и поверхностного монтажа делает очень затруднительным процесс ремонта аппаратуры. Общеизвестно, что регенераторы являются, с одной стороны, наиболее массовыми узлами аппаратуры ЦСП, а с другой – создающими наибольшее число проблем, как при пуско-наладке систем передачи, так и при их эксплуатации. В первую очередь, это относится к линейным регенераторам, работающим в составе НРП в жёстких климатических условиях и без постоянного присутствия обслуживающего персонала. Поэтому организация эффективного контроля работы регенераторов на всех этапах строительства и эксплуатации сетей является решающим фактором обеспечения надёжности и требуемых качественных показателей систем связи.

Может ли, по Вашему мнению, существовать какая-либо альтернатива регенераторам цифровых сигналов?

Нужны ли регенераторы в волоконно-оптических системах передачи? И в какой форме?

4.5. Сервисные подсистемы цифровых линейных трактов. Электропитание оборудования.

Работа линии передачи цифровой информации обеспечивается рядом сервисных подсистем, входящих в состав комплекса оборудования линейного тракта. К ним относятся системы электропитания, служебной связи, дистанционного контроля и аварийной сигнализации.

Электропитание аппаратуры линейных трактов.

Устройства электропитания оборудования линейного тракта можно разделить на две категории: так называемые устройства местного электропитания оборудования, расположенного на сетевых узлах или в периферийных пунктах, и устройства питания промежуточного оборудования, размещаемого в необслуживаемых регенерационных пунктах (НРП).

Местное электропитание осуществляется от вторичных источников, входящих в состав блоков оконечного оборудования. В качестве таких источников используются преобразователи напряжения станционных батарей. Функционально они представляют собой стабилизаторы напряжения. Международными и национальными стандартами нормируются такие параметры местного электропитания, как номинальные напряжения питания станционных источников (24 В, 48 В, 60 В) и допустимые отклонения от указанных номиналов, действующие значения допускаемых напряжений пульсации в диапазонах до 300 Гц и от 300 Гц до 20 кГц, психофотметрическое значение допускаемого напряжения пульсаций (не более 2 мВ психоф). Нормируются также показатели стойкости аппаратуры электропитания к броскам (одиночным импульсам) напряжения станционных источников.

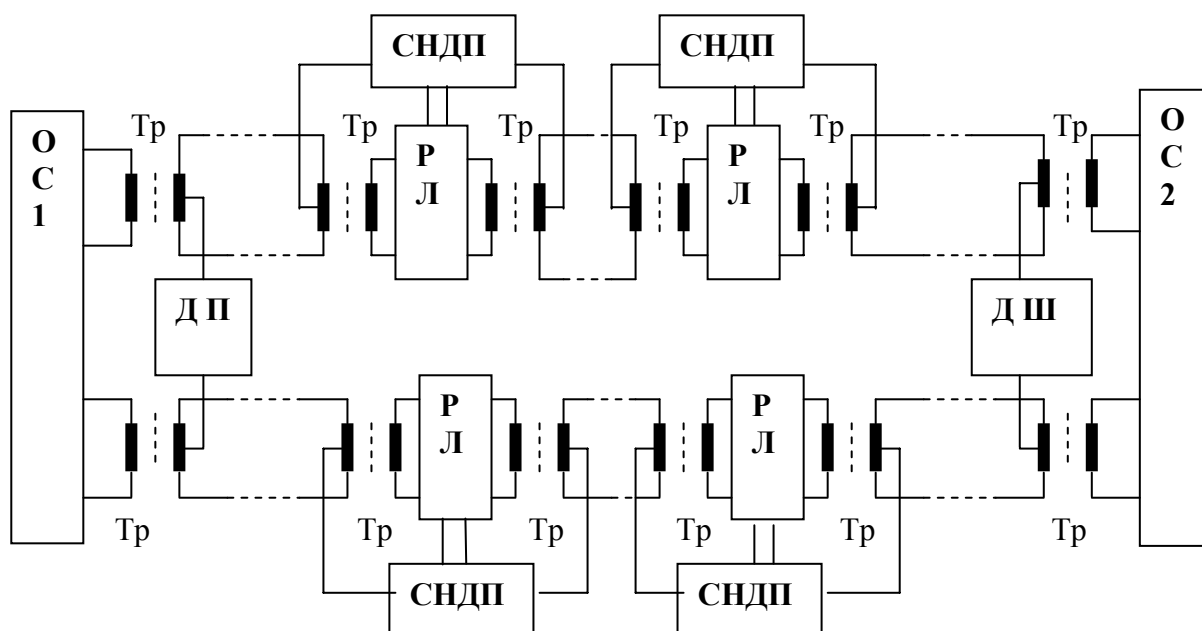
В ряде случаев, например, для оборудования узлов доступа, местное электропитание организуется от сети переменного тока. При этом нормируются величина питающего переменного напряжения и допуски на его возможные отклонения, а также его частота (50 Гц по европейскому и 60 Гц по американскому стандартам) и пределы её допустимых отклонений.

Проблему организации электропитания промежуточного оборудования можно считать более сложной, а её решение – многовариантным. В настоящее время практикуется питание НРП от источников, расположенных на узлах сети и входящих в состав комплекса оборудования линейного тракта, а также от местных источников, таких, как солнечные батареи, радиоизотопные термоэлектрические генераторы (РИТЭГ) и т. п., входящих в состав оборудования регенерационных пунктов линии связи. Большого распространения варианты организации питания от местных источников не получили вследствие их относительно высокой стоимости, слабой защищённости от несанкционированного доступа и, как в случае РИТЭГ, повышенной опасности для окружающей среды.

Наиболее распространённым вариантом организации электропитания НРП является *дистанционное питание* (ДП), когда источник тока располагается на оконечной станции, на НРП размещаются приёмники дистанционного питания, а ток питания проходит по проводам кабеля связи. При этом соединение станционного источника с НРП для линии, построенной симметричным кабелем, может производиться по отдельной выделенной паре, или по фантомной цепи кабеля, образованной двумя парами (см. рис. 21). На линиях, построенных коаксиальным кабелем, источник дистанционного электропитания подключается одним полюсом к центральному проводу, а другим – к экрану кабеля.

Во всех перечисленных вариантах на оконечной станции устанавливается стабилизатор тока, а на НРП – стабилизаторы напряжения. Величина тока ДП

определяется схемными решениями и выбором элементной базы НРП. Напряжение ДП определяется количеством питаемых НРП и падением напряжения на проводах, образующих цепи питания. Величина напряжения источника ДП ограничивается нормированной величиной электрической прочности кабеля, который должен выдерживать перенапряжения, равные сумме напряжения ДП и напряжения наводок от каких-либо внешних воздействий. Если это условие выполнить не удаётся, линия разбивается на ряд секций ДП, каждая из которых питается от своего источника, расположенного на оконечных станциях или специальных питающих НРП. При построении комплекса оконечного линейного оборудования сетевых узлов или сетевых окончаний в их состав вводятся устройства контроля и индикации величины тока и напряжения ДП и сигнализации о выходе из строя или повреждении устройств и цепей электропитания, а также о превышении возможных отклонений параметров от номинала, превышающих установленные допуски. Другим обязательным атрибутом оборудования электропитания является наличие системы максимально-нулевой защиты. Функциями устройств максимально-нулевой защиты является аварийное отключение электропитания при превышении нормированной величины тока питания (вариант короткого замыкания) или, наоборот, при падении величины тока до нуля (вариант обрыва цепей питания).



ОС1, ОС2 – оконечные станции секции дистанционного питания

ДП – источник дистанционного питания – стабилизатор тока

ДШ – блок дистанционного шлейфа

РЛ – линейный регенератор

СНДП – стабилизатор напряжения дистанционного питания, входящий в состав

РЛ

Тр – линейный трансформатор оконечного и линейного регенераторов

Рис. 21: Схема организации дистанционного электропитания по фантомной цепи симметричного кабеля.

Телеконтроль оборудования линейного тракта.

Важнейшей сервисной подсистемой ЦСП является **система телеконтроля** линии. Она строится на базе измерителей важнейших эксплуатационных параметров, в

первую очередь, параметров передачи, и устройствах трансляции этой информации на оконечную станцию. Помимо контроля коэффициента ошибок, устройства телеконтроля должны сигнализировать о состоянии линейно-кабельных сооружений (несанкционированное открытие крышек или люков НРП, падение давления в системе обслуживания кабелей, пожарная сигнализация и т.п.). Точки контроля могут располагаться на всех необслуживаемых регенерационных пунктах, хотя в ряде систем они выборочно устанавливаются только на ряде НРП. Для передачи сигналов телеконтроля используются существующие каналы передачи служебной информации, как входящие в состав групповых цифровых сигналов, так и работающие по вспомогательным цепям кабельных линий. Системы телеконтроля по их месту в составе аппаратного комплекса линии связи можно разделить на участковые и магистральные. Последние, в отличие от участковых, могут быть положены в основу систем централизованного контроля и обслуживания цифровой сети. Критерии оценки и принципы обработки информации о состоянии кабельных линий линии рассматриваются выше. Техника измерений основных качественных показателей цифровых сигналов подробно рассматривается в следующих главах.

Проверка работы систем телеконтроля сводится к имитации появления аномалий в контролируемом участке линии и сравнении результатов индикации оконечных устройств телеконтроля и показаний штатных контрольно-измерительных приборов, устанавливаемых на тех же линейных окончаниях.

Система аварийной сигнализации.

Система аварийной сигнализации предназначена для обнаружения аварийных ситуаций (например, пропадание сигнала, выход аппаратуры из синхронизма, пропадание электропитания и т. п.) и генерации специального сигнала индикации аварийного состояния (СИАС). СИАС может иметь вид непрерывной последовательности единиц или последовательность из периодически повторяющихся 510 единиц и двух нулей. СИАС передаётся на оконечную станцию по сохранившему работоспособность участку линии. СИАС может передаваться вместо линейного или стыкового сигнала, а также входить в состав группового сигнала ЦСП высшей ступени иерархии или передаваться в одном из канальных интервалов первичного цифрового сигнала. Комплекс контрольно-измерительной аппаратуры и средств встроенного контроля аппаратуры ЦСП должен включать в себя устройства распознавания СИАС, а если есть возможность, то и локализации его источника. Помимо прямой функции СИАС, то есть передачи сообщения об аварии, существенным моментом использования СИАС является предотвращение самовозбуждения РКУ регенераторов в случае пропадания линейного сигнала.

Контроль функционирования системы аварийной сигнализации сводится к имитации аварий (дефектов различного рода) и проверке прохождения СИАС по уцелевшему участку сети и правильности распознавания СИАС и срабатывания устройств индикации аварии.

Служебная связь.

ЦСП оснащаются *системами служебной связи* (СС), которые подразделяются на системы *участковой* (то есть связи оконечной станции с промежуточными пунктами), *постанционной* (между оконечными станциями) и *магистральной* СС. Каналы СС для всех перечисленных её типов могут быть как аналоговыми, так и цифровыми. В последнем случае во временном спектре группового цифрового сигнала для СС выделяются специальные тактовые интервалы (биты СС).

Участковая и постанционная служебная связь для большей части ЦСП, работающих в настоящее время на телекоммуникационных сетях, организуются по свободным парам многопарных кабелей, если таковые имеются. В одночетвёрных и многочетвёрных кабелях каналы СС организуются по фантомным цепям этих кабелей. Для участковой связи с НРП широко используются переговорно-вызывные устройства (ПВУ), входящие в состав аппаратов обходчика или работающие отдельно.

В ряде случаев при организации служебной связи её сигналы передаются по информационным парам с использованием частотного разделения сигналов СС и информационного сигнала. При этом спектр как цифровых, так и аналоговых каналов СС располагается обычно ниже спектра группового информационного сигнала.

Во всех перечисленных вариантах организации СС её ПВУ на сетевых узлах и терминалах входят в состав блоков окончания линейных трактов. При этом, как правило, используются громкоговорящие переговорно-вызывные устройства.

Каналы постанционной СС в ЦСП ПЦИ и СЦИ входят в состав групповых сигналов, для чего в групповых сигналах предусматриваются специальные биты СС, передаваемые в служебных байтах заголовков. В этом случае ПВУ входят в состав блоков мультиплексирования-демультиплексирования в окончательном оборудовании соответствующего цифрового тракта.

В ВОЛС для служебной связи обычно выделяется один из каналов ТЧ группового сигнала. В ряде случаев для целей СС по оптическому кабелю используется так называемый оптический телефон, позволяющий организовать канал СС без внедрения в групповой сигнал системы передачи. Более подробно об этом будет рассказано в главе 12.

Магистральная СС, в подавляющем большинстве случаев, использует цифровые каналы, занимающие служебные биты групповых сигналов. Кроме того, следует отметить, что магистральная служебная связь в современных сетях, как правило, бывает многоканальной, и, в ряде случаев, коммутируемой на сетевых узлах. Тогда можно говорить о сети СС, наложенной на магистральную сеть. Такова магистральная СС во всех современных синхронных транспортных сетях.

Контроль каналов СС должен входить в обязательный комплекс процедур контроля оборудования ЦСП. При передаче цифровых каналов СС в составе групповых сигналов соответствующих ступеней иерархии, их качество неразрывно связано с качеством передачи групповых сигналов.

Контроль качества аналоговых каналов СС ничем не отличается от контроля абонентских телефонных каналов. Это относится как к методике проверки, так и к используемой для этого приборной базе. При этом следует помнить, что требования к качеству каналов СС несколько ниже, чем аналогичные требования к абонентским каналам. Поэтому в ряде ЦСП для передачи цифровых сигналов СС используется не классическая ИКМ, а компандированная дельта-модуляция (КДМ) или АДКМ с пониженной скоростью передачи цифрового сигнала (от 32 кбит/с до 16 кбит/с). Это позволяет более рационально использовать пропускную способность групповых трактов. Обычно при контроле аналоговых каналов СС ограничиваются субъективной оценкой их качества по пятибалльной системе.

Каково, по Вашему мнению, допустимое соотношение объёмов основного и сервисного оборудования цифровых трактов?