

ЕЩЕ РАЗ О ДЖИТТЕРЕ

*Н. Л. Сторожук, генеральный директор НПП «КОМЕТЕХ», к. т. н.,
В. А. Белоруков, директор телекоммуникационного департамента НПП «КОМЕТЕХ»,
В. И. Щитников, научный консультант НПП «КОМЕТЕХ», с. н. с., к. т. н.*

ВВЕДЕНИЕ

С проблемами, вызванными фазовыми дрожаниями цифрового сигнала (джиттером), отечественные связисты стали часто сталкиваться в середине девяностых годов прошлого века. В это время в России началась массовая установка импортного оборудования, и у служб эксплуатации возникали проблемы при стыковке его с уже работающей на сетях старой цифровой аппаратурой. Часто причиной этих проблем являлся высокий уровень фазовых дрожаний сигнала на станционных стыках Е1 отечественной аппаратуры.

В 1996 году приказом Министерства связи РФ были введены «Нормы на электрические параметры цифровых каналов и трактов магистральной и внутризональных первичных сетей», регламентирующие два основных вида показателей качества цифровых каналов и трактов - показатели ошибок и показатели дрожания и дрейфа фазы (джиттера и вандера).

Для оценки предельно допустимых величин джиттера этим документом были предусмотрены следующие виды норм:

- сетевые предельные нормы на иерархических стыках;
- предельные нормы на фазовое дрожание цифрового оборудования (в том числе характеристиче-

ки передачи дрожания фазы);

- нормы для фазового дрожания цифровых участков.

В «Нормах» подчёркивается, что показатели дрожания и дрейфа фазы не относятся к статистическим параметрам и для их проверки не требуются длительных измерений. Однако, с целью накопления статистических данных по удовлетворению вводимым нормативам проверка тракта на соответствие требованиям по джиттеру была сделана обязательной при вводе тракта в эксплуатацию. В документе также говорится, что в некоторых случаях при повышенном количестве ошибок следует проводить исследования фазового дрожания.

«Нормы», выпущенные в 1996 году в настоящее время являются единственным документом, нормирующим показатели качества национальной сети. Установленные в них нормативы определены версиями рекомендаций МСЭ-Т действовавшими на момент их написания. За истекшее десятилетие международные рекомендации претерпели ряд существенных изменений, как в части нормативов, так и в части рекомендуемых испытаний.

1. ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ФАЗОВЫХ ДРОЖАНИЙ

Регулярность генерации элементов цифрового сигнала обеспечивается

за счёт синхронизации этого процесса тактовой частотой. Однако при прохождении через тракт передачи регулярность следования элементов цифрового сигнала нарушается, возникает паразитная фазовая модуляция, называемая джиттером. Более формальное определение фазовых дрожаний дает Рекомендация МСЭ-Т 0.171 — «Кратковременные отклонения значащих положений цифрового сигнала от его идеальной временной позиции». Частота отклонения фазы называется частотой джиттера.

Появление фазовых дрожаний в цифровой сети обусловлено принципами обработки и передачи цифровой информации, которые составляют основу построения аппаратуры. К ним относятся:

- регенерация цифровых сигналов методом самохронирования (выработка тактового колебания с помощью нелинейной обработки и узкополосной фильтрации непосредственно из принимаемого сигнала);
- согласование скоростей передачи способом «стаффигов» (управляемой вставки неинформативных временных позиций и их последующим удалением на приеме).

При реализации этих принципов возникает необходимость усреднения частоты поступления информационных элементов цифрового сиг-

нала перед размещением их на регулярных временных позициях (детерминированных тактовых интервалах). Неидеальность этого процесса приводит к отклонениям временных положений элементов цифрового сигнала от желаемых (эталонных) позиций — дрожаниям фазы.

Таким образом, основными видами оборудования, ответственными за появление фазовых дрожаний в плезиохронной сети, являются цифровой линейный тракт и аппаратура временного группообразования.

1.1. Фазовые дрожания, возникающие в линейном тракте

Каждый регенератор содержит устройство, которое выделяет из поступающего сигнала хронизирующее колебание. Однако, в зависимости от содержания передаваемой информации, при его выделении избирательной схемой полученное колебание будет иметь амплитудную модуляцию. Пороговый детектор, следующий за избирательной цепью, в идеале должен определить момент, когда это колебание пересечет уровень нуля (этот момент, в принципе, не зависит от амплитуды сигнала). Реально, в практических схемах уровень порога отличен от нулевого уровня, так что малые изменения амплитуды сигнала приводят к вариациям момента срабатывания порогового детектора. Другими словами, имеет место амплитудно-фазовое преобразование.

Неидеальность коррекции линейных искажений, появляющихся при прохождении цифрового сигнала по среде передачи, приводит к появлению межсимвольных помех, длительность и амплитуда которых определяется информационным содержанием сигнала. Их воздействие на нелинейный элемент вызывает смещение временных положе-

нии импульсов в последовательности на его выходе.

Асимметрия импульсов, связанная с неидеальностью коррекции и последующего нелинейного преобразования, также приводит к появлению временных флуктуации на выходе избирательной цепи. Изменения длительности импульсов составляют еще один источник фазовых дрожаний, зависящий от содержания передаваемой информации.

Выделение хронизирующего колебания пассивными избирательными цепями из-за неидеальности их реализации сопровождается появлением временных сдвигов. Это:

- статический сдвиг, величина которого зависит от степени расстройки и характера фазовой характеристики избирательной цепи;
- дополнительная модуляция фазы, возникающая из-за асимметрии частотной характеристики цепи хронирования, вызванной расстройкой избирательной цепи.

Переходные помехи от других цифровых линейных трактов, работающих в этом же кабеле могут вносить фазовые сдвиги в цифровой сигнал. Так как каждая влияющая цепь вносит независимую помеху, то вызываемые ими дрожания фазы являются некоррелированными и их уровень растет незначительно с ростом числа регенераторов в цепи. Следующий возможный источник фазовых дрожаний связан с относительной задержкой импульсов. Обычно в выходных каскадах регенератора положительные и отрицательные импульсы поступают на объединяющий выходной трансформатор по разным физическим цепям. Различие их временных задержек вызывает некоторую асимметрию временных расстояний между ними в выходном сигнале регенератора, что приводит к появлению относи-

тельных дрожаний фазы в следующем регенераторе цепи, ухудшая запас помехозащищенности.

1.2. Фазовые дрожания временного группообразования
Аппаратура временного группообразования осуществляет создание цифровых каналов высших уровней иерархии на основе объединения нескольких низкоскоростных цифровых потоков. Формирование группового сигнала производится путем периодического чередования битов поступающих компонентных потоков на стороне передачи. Его разделение на исходные низкоскоростные потоки выполняется на стороне приема.

Входящие компонентные потоки могут поступать от независимых источников информации с одинаковыми номинальными, но фактически отличающимися друг от друга скоростями передачи. Эти скорости отличаются друг от друга в пределах нормируемых допусков на эти скорости. Прямое объединение таких потоков не может быть выполнено, пока они не будут синхронизированы от общего задающего генератора. Непосредственная синхронизация не может быть осуществлена, поскольку источники исходной цифровой информации часто располагаются не в одном месте, а на значительных расстояниях друг от друга. При использовании цифрового выравнивания скоростей передачи для восстановления временных соотношений в выделенных компонентных потоках на стороне приема в состав группового сигнала должны быть включены служебные биты управления выравниванием, несущие информацию, на основе которой будут удалены стаффинговые позиции.

Другая проблема связана с опознаванием компонентных потоков

при приеме: поочередная их передача требует осуществления цикловой синхронизации для определения порядка этой очереди в процессе разделения группового сигнала на компонентные потоки. В типовой аппаратуре временного группообразования эта синхронизация осуществляется с помощью циклового синхросигнала, также введенного в состав группового сигнала.

Таким образом, возникновение фазовых дрожаний в компонентных цифровых сигналах при аппаратной реализации временного группообразования на основе вышеописанных принципов может вызываться следующими явлениями:

- периодическим (с частотой цикла) удалением из равномерного потока хронизирующих импульсов компонентных потоков в составе группового сигнала тех из них, которые определяют временные положения служебных битов: циклового синхросигнала, битов управления выравниванием и других;
- исключением из этого же потока импульсов, определяющих положение выравнивающих временных интервалов с частотой, определяемой фактическим расхождением между частотами приема входной информации (записи) и передачи этой информации в составе группового сигнала (считывания);
- проведением операции выравнивания не в тот момент времени, когда она требуется, а в момент времени, предопределенный принятой структурой цикла группового сигнала.

Влияние первых двух факторов, которые могли бы вызвать относительно высокочастотную фазовую модуляцию импульсов хронирования при усреднении частоты в цепях выделения синхросигнала

линейного тракта, устраняется применением небольшого буферного ЗУ в блоке ФАПЧ. Данный подход применялся уже в первых же образцах систем передачи.

Наибольшую неприятность представляют дрожания фазы, обусловленные последней из перечисленных выше причин (фазовые дрожания времени ожидания), т. к. они имеют составляющие с частотами, лежащими внутри полосы пропускания ФАПЧ, и поэтому могут появиться в сигналах компонентных потоков на выходе устройств разделения и передаваться по линейным трактам.

1.3. Дополнительные источники фазовых дрожаний

Дополнительные фазовые дрожания, возникающие при выработке сигналов хронирования, определяются двумя причинами. Первой является так называемый фликкершум электронных компонентов, интенсивность которого имеет обратную зависимость от частоты ("1 /f" - шум). Он накладывается на любой сигнал, проходящий через активные элементы, и тактовая частота не является исключением. Другой причиной является фазовый шум, вызванный статистической неопределенностью переходов в сигналах на входах и выходах логических элементов.

Фазовые дрожания, вызванные этими источниками пренебрежимо малы сравнению с дрожаниями от других ранее рассмотренных источников.

2. АКТУАЛЬНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ФАЗОВЫХ ДРОЖАНИЙ В СОВРЕМЕННЫХ СЕТЯХ

Проблемы, возникшие при массовой установке аппаратуры синхрон-

ной иерархии, и введение «Норм» вызвали повышенный спрос на измерители джиттера канала Е1, что привело к увеличению импорта зарубежных, а также разработке и выпуску отечественных приборов с данной функцией. Эта опция закладывалась практически во все разрабатываемые анализаторы стыков Е1, а также добавлялась производителями во многие приборы, не имевшие её ранее. Джиттер начали активно измерять, и по мере накопления и анализа результатов измерений интерес к этой проблеме стал постепенно снижаться.

Причины спада этого интереса можно указать следующие:

1. Критерии ввода (в т.ч. и после ремонта), а также вывода из эксплуатации устанавливаются на основании данных по показателям ошибок, получаемых при эксплуатационных измерениях. Решение о выводе оборудования из эксплуатации или же проведение учащенного контроля данного тракта принимается, опять же, по показателям ошибок, и анализу тенденций изменения данного параметра. Необходимость измерения фазовых дрожаний возникает лишь в процессе ввода тракта в эксплуатацию.
2. Технический прогресс за последние годы позволил существенно уменьшить влияние основных причин появления фазовых дрожаний в цифровых сигналах.

Относительная задержка положительных и отрицательных импульсов в цепях хронирования выходного сигнала может быть уменьшена и сведена к минимальному значению в процессе проектирования и настройки аппаратуры передачи. Даже на старой аппаратуре этот источник вносит некоторый постоянный джиттер и должен учитываться на этапе ввода в эксплуатацию, а его постоянный и даже

периодический контроль не имеет большого смысла.

Цепи самохронирования, построенные на пассивных избирательных схемах, в аппаратуре последних лет выпуска не применяются. В настоящее время широкое распространение получили схемы выделения тактовой частоты на основе ФАПЧ с узкой полосой пропускания построенные на активных элементах. Это приводит к подавлению джиттера в хронизирующем сигнале и как следствие — к его уменьшению в регенерированном. Такая мера позволила снизить частоту возникновения ошибок из-за джиттера при регенерации цифрового сигнала.

Отказ от двустороннего стаффинга в национальной аппаратуре стабилизировал величину и диапазон частот генерируемых дрожаний фазы, т.е. сделал их прогнозируемыми. Совершенствование схем синхронизации в аппаратуре также позволило снизить частоту возникающих проскальзываний, т.е. перевод джиттера в более низкочастотную область, в которой его влияние значительно ниже..

С введением "Норм" изменились и требования по фазовым дрожаниям при сертификации новой и продлении сертификатов на выпускавшуюся ранее аппаратуру. Это привело к тому, что, начиная с середины 90-х годов, производителям пришлось изменить схемотехнику станционных стыков старой и тем более новой аппаратуры, для этого, как правило, использовались специализированные микросхемы.. В их состав входят ячейки памяти, куда записывается входящий из линии сигнал, затем он строится стабильной частотой генератора приёмного оборудования и затем

уже поступает на выход. Измерять джиттер на такой аппаратуре не имеет большого смысла; даже если он присутствовал в линейном тракте, измеритель, подключённый к станционному стыку, его не обнаружит.. Таким образом, поступающая с середины 90-х годов на сети аппаратура, в подавляющем большинстве имела функцию подавления джиттера на станционных стыках E1, более того, чтобы привести существующие тракты к требованиям «Норм» операторам зачастую приходилось менять старое оборудование мультиплексирования на современное, опять же с подавлением джиттера на стыках.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании изложенного видно, что контроль джиттера необходим (или по меньшей мере целесообразен) на этапе ввода тракта в эксплуатацию, т. е. при пусконаладке или после ремонта. При эксплуатационном техническом обслуживании измерения данного параметра не столь актуальны.

Несмотря на очевидный прогресс в реализации измерения джиттера в современных контрольно-измерительных приборах, данная функция является относительно дорогостоящей. При разработке приборов с функцией измерения джиттера производители применяют следующие подходы:

1. Схемно данная функция обеспечена, но программная поддержка измерителя джиттера или заблокирована, или же требует инсталляции в прибор;
2. Блок измерителя джиттера поставляется отдельно, а в базовом при-

боре реализован лишь интерфейс для подключения;

3. Измерение джиттера является неотъемлемой функцией прибора.

В любом из этих случаев пользователь оплачивает полностью или частично опцию, которая при эксплуатационных измерениях требуется не так уж часто. Для оптимизации расходов на эксплуатационное обслуживание участка сети можно ограничиться необходимым парком недорогих портативных приборов, а проведение сложных работ осуществлять при помощи более дорогостоящего оборудования, которое позволяет проводить описанные в «Нормах» измерения по измерению джиттера, анализу передаточных характеристик фазовых дрожаний и устойчивости аппаратуры связи к дрожанию и дрейфу фазы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нормы на электрические параметры цифровых каналов и трактов магистральной и внутризональных первичных сетей. Введены приказом № 92 Министерства связи Российской Федерации с 01.10.96 г.
2. Рекомендация 0.171 — Аппаратура для измерения дрожания и дрейфа фазы в цифровых системах, основанных на плезихронной цифровой иерархии.
3. И. Г. Бакланов, А. Г. Лебедев, С. Ю. Сондак, Несколько серьезных слов о джиттере. «Метрология и измерительная техника в отрасли связи» № 2, 2005 г.
4. Рекомендация G.921 — Цифровые участки, основанные на иерархии 2048 кбит/с.