

## **Фазовые дрожания в плезиохронных сетях.**

В.И. ЩИТНИКОВ, кандидат технических наук, ст. научный сотрудник ЗАО "Технодалс", В.С. КОМЯГИН, зам. Генерального директора по науке ЗАО "Технодалс" ("Метрология и измерительная техника в связи" N 2/1999 г.)...

### **Аннотация**

Необходимость обеспечения норм на качество передачи в первичной цифровой сети, введенных приказом No92 [1], потребовало более тщательного учета всех ухудшающих факторов, в том числе и тех, влияние которых ранее опускалось. Такими факторами, например, являются дрожание и дрейф фазы (джиттер и вондер). Цель данной статьи - ознакомление специалистов служб эксплуатации первичной сети с этим явлением. Здесь описываются главные источники фазовых дрожаний, показывается их влияние на качество передачи, рассматриваются вопросы накопления дрожаний фазы в цифровых линейных трактах и методы их подавления, а также принципы нормирования дрожаний фазы и технологии измерения нормируемых показателей.

### **Введение**

Фазовые дрожания (джиттер) являются специфическим видом искажений, которые возникают в процессе формирования и передачи цифровых сигналов. Источники цифровых сообщений, как правило, вырабатывают элементы цифрового сигнала с равномерной скоростью. Регулярность генерации элементов сигнала обеспечивается путем синхронизации этого процесса тактовым колебанием (хронированием). Однако, при последующих операциях с цифровым сигналом регулярность следования элементов сигнала несколько нарушается: их фактическое положение не совпадает с временными позициями, которые имели место в источнике сообщения. Отклонение отдельных элементов цифрового сигнала от своих идеальных временных положений получило название дрожаний фазы (джиттера). Более формальное определение фазовых дрожаний дает МСЭ-Т [2] - "кратковременные отклонения значащих положений цифрового сигнала от его идеальной временной позиции". К этому определению уместно сделать два следующих замечания:

- "значащим положением" являются любые фиксированные точки цифрового сигнала, которые могут быть четко идентифицированы (передний или задний фронты импульсов, или, например, средняя точка);
- "кратковременные" означают здесь изменения с частотой более или равной 10 Гц.

В прикладных целях фазовые дрожания удобно рассматривать как случайную фазовую модуляцию хронизирующего сигнала, который определяет переходы в элементах цифрового сигнала. Иллюстрация такого подхода приведена на рис. 1.

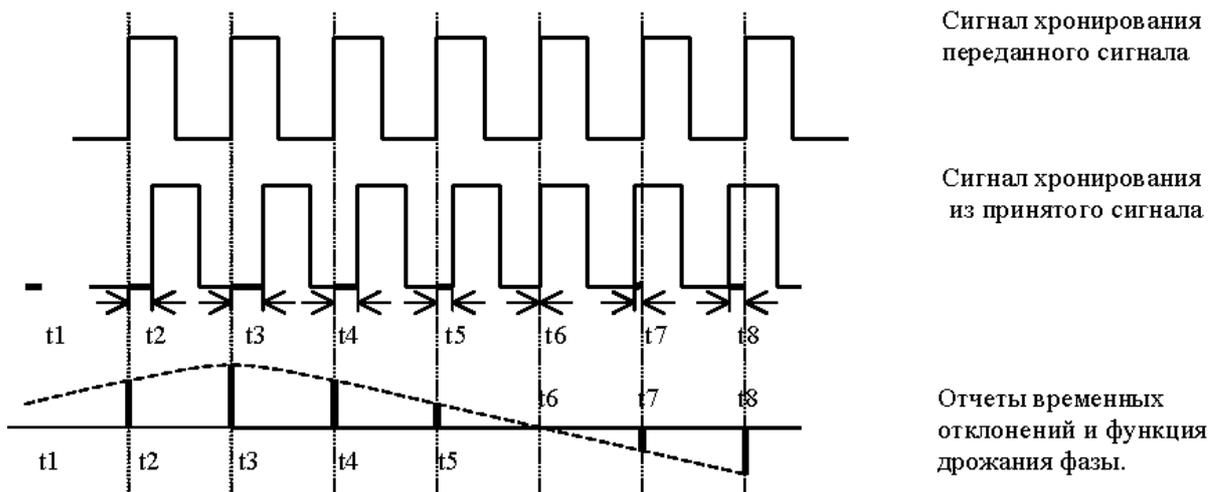


Рисунок 1. К определению фазовых дрожаний.

На этом рисунке изображены:

- а) последовательность импульсов сигнала хронирования, используемая источником сообщений при формировании цифрового сигнала.
- б) последовательность импульсов сигнала хронирования, вырабатываемая на основе принятого сигнала, прошедшего по тракту передачи, которая стала слегка нерегулярной.
- в) серия отсчетов в регулярных тактовых интервалах, величина которых  $t_i$  ( $i = 1, 2 \dots$ ) равна величине отклонения от моментов регулярного хронирования; причем эта серия отсчетов описывает непрерывную функцию, характеризующую модуляцию фазы хронизирующего сигнала.

Использование этой концепции позволяет представить фазовые дрожания как непрерывную функцию времени, и такое колебание можно выделить и измерить с помощью специального испытательного оборудования. Как всякую функцию времени, это колебание можно представить в виде непрерывного ряда частотных компонент. Данный подход положен в основу описания дрожаний фазы и использован, как будет показано ниже, для нормирования и оценки показателей искажений.

В отличие от других видов ухудшений, влияющих на качество передачи (цифровые ошибки, проскальзывания), фазовые дрожания с помощью соответствующей обработки (как будет показано ниже) могут быть снижены до любого желаемого уровня.

### 1. Ухудшения, вызываемые дрожаниями фазы

Если не предпринять меры по ограничению амплитуды фазовых дрожаний в цифровой сети, то в определенных обстоятельствах фазовые дрожания могут возрасти до такой величины, что могут появиться следующие ухудшения качества передачи:

1. увеличение частоты цифровых ошибок в пунктах регенерации цифрового сигнала, как результат того, что выделенные сигналы хронирования будут смещены относительно своих оптимальных положений;
2. искажение аналоговой информации, передаваемой цифровыми методами, как результат фазовой модуляции восстановленных отсчетов в устройстве цифро-аналогового преобразования на конце соединения;
3. появление неуправляемых проскальзываний в цифровых сигналах в результате переполнения устройств памяти, используемых в определенных видах оконечного оборудования.

Меры по предотвращению первого вида ухудшений предпринимаются при разработке оборудования и реализуются в процессе его настройки; они должны обеспечить уверенность в том, что смещения моментов решения, определяемые выделенным сигналом хронирования, не слишком снизили запасы по шуму. Примечательной

особенностью работы системы хронирования при регенерации является то, что появление или отсутствие ошибки регенерации определяется не абсолютной величиной фазовых дрожаний, а лишь разностью между фазовыми дрожаниями в регенерируемом сигнале и сигнале хронирования, выделенным из него, то есть так называемыми относительными фазовыми дрожаниями. Именно эти дрожания должны быть ограничены до приемлемого уровня, который достигается разумным построением системы выделения сигнала хронирования, обоснованным выбором стратегии коррекции, мерами по ограничению изменений плотности импульсов в передаваемом цифровом сигнале.

Снижение ухудшений второго типа достигается путем ограничения амплитуды дрожаний фазы до уровня, субъективно допустимого для данной аналоговой службы. При сетевом нормировании вопрос о величине этого уровня решается на основе чувствительности к фазовым дрожаниям наиболее массовых служб. Для сетей связи общего пользования, к которым относится первичная сеть ВСС, нормы установлены в соответствии с требованиями служб телефонии.

Последний, из перечисленных выше, вид ухудшений потенциально наиболее труден с точки зрения четкого формулирования требований к уровню фазовых дрожаний, который необходим для поддержания работы сети во всей гамме возможных соединений. Здесь требуется понимание как механизма возникновения фазовых дрожаний и законов их накопления в разнообразном оборудовании цифровой сети, так и принципов работы всего сетевого комплекса в процессе установления различных, часто весьма сложных, соединений.

## **2. Источники фазовых дрожаний**

Возникновение фазовых дрожаний обусловлено принципами обработки и передачи цифровой информации, которые составляют основу построения аппаратуры плезиохронной цифровой сети:

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

При реализации этих принципов возникает необходимость усреднения частоты поступления следующих элементов цифрового сигнала, размещенных 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, являются цифровой линейный тракт и аппаратура временного группообразования.

### **2.1. Фазовые дрожания, возникающие в линейном тракте**

Для проведения полной регенерации цифрового сигнала (по амплитуде и во времени) каждый регенератор содержит устройство, которое выделяет из поступающего сигнала хронизирующее колебание. Типовая структура такого устройства приведена на рис. 2.

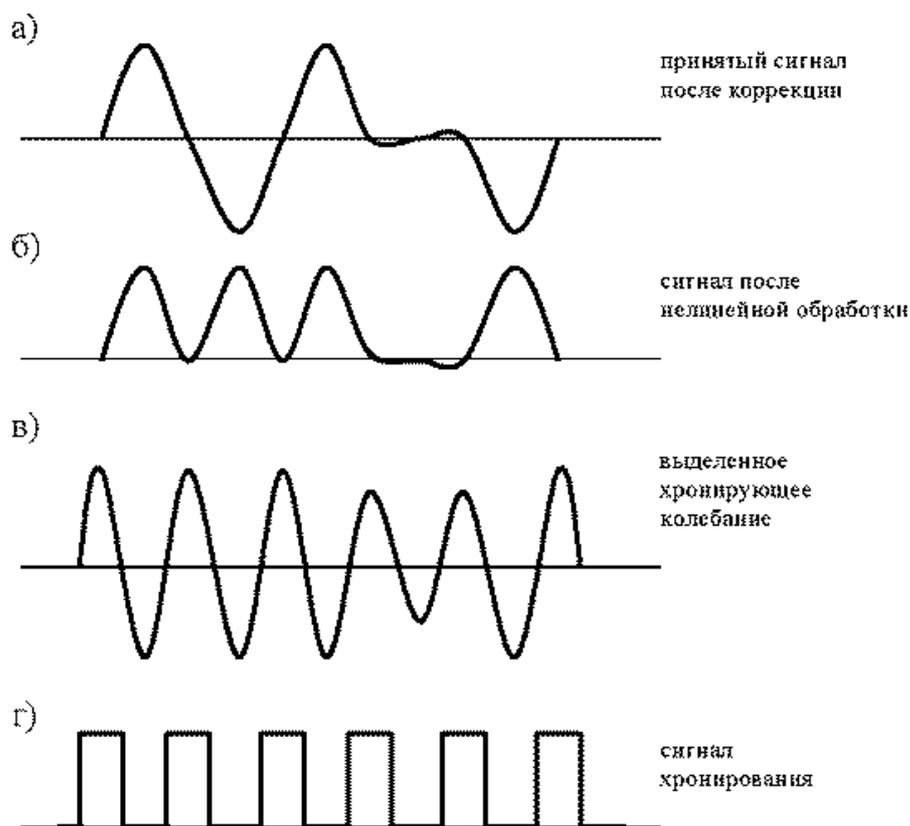
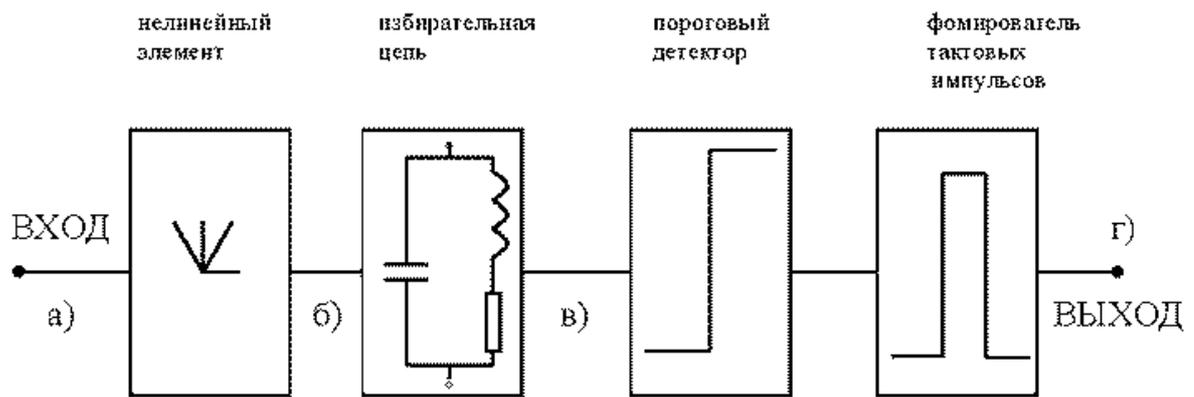


Рисунок 2. Типовая структура устройства выработки сигнала хронирования.

Здесь принятый и скорректированный сигнал подвергается нелинейной обработке, в результате которой появляется импульсная последовательность, содержащая в своем спектре дискретную составляющую тактовой частоты.

Однако, в зависимости от случайного содержания передаваемой информации, уровень этой составляющей будет случайно меняться. Таким образом, при ее выделении избирательной схемой (резонансным контуром или полосовым фильтром) полученное колебание будет иметь амплитудную модуляцию. Пороговый детектор, следующий за избирательной цепью, в идеале должен определить момент, когда это колебание пересечет нуль (этот момент, в принципе, не зависит от амплитуды сигнала). Реально, в практических схемах, уровень порога отличен от нуля, так что малые изменения амплитуды сигнала приводят к вариациям момента срабатывания порогового детектора, иначе говоря, 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 положений импульсов в последовательности на его выходе.

Асимметрия импульсов, воздействующих на избирательную цепь, которая связана с неидеальностью коррекции и последующего нелинейного преобразования, также приводит к появлению временных флуктуаций на выходе этой цепи. Изменения длительности импульсов составляют еще один источник фазовых дрожаний, зависящий от содержания передаваемой информации.

Выделение хронизирующего колебания пассивными избирательными цепями из-за их неточного выполнения сопровождается появлением временных сдвигов. Это, и статический сдвиг, величина которого зависит от степени расстройки и характера фазовой характеристики избирательной цепи, и дополнительная модуляция фазы, возникающая из-за асимметрии частотной характеристики цепи хронирования, вызванной расстройкой избирательной цепи.

Фазовые сдвиги могут вносить в сигнал хронирования переходные помехи от других цифровых линейных трактов, работающих в этом же кабеле. 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 относительных дрожаний фазы в следующем регенераторе цепи, ухудшая его запас помехозащищенности.

## **2.2. Фазовые дрожания временного группообразования**

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

Обычно входящие компонентные потоки поступают от независимых источников информации с одинаковыми номинальными скоростями передачи, но фактически отличающимися друг от друга на величину, нормируемую соответствующими допусками на эти скорости. Непосредственное объединение таких сигналов не может быть выполнено, пока их скорости не будут синхронизированы от общего задающего генератора. Трудности такой синхронизации определяются тем, что источники исходной цифровой информации часто располагаются не в одном месте (в отличие от случая формирования первичного цифрового потока канала Е1), 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 временные интервалы.

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 аппаратурной реализации временного группообразования на основе вышеописанных принципов вызывается 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, predetermined принятый структурой цикла группового сигнала.

Первые два явления вызывают относительно высокочастотную фазовую модуляцию импульсов хронирования при усреднении частоты, которая в определенной мере подавляется в цепях выделения хронирования линейного тракта и узкополосной ФАП временного группообразования.

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 ФАП, и, поэтому, могут появиться в сигналах компонентных потоков на выходе устройств разделения и передаваться по линейным трактам. В стандартном оборудовании временного группообразования величина этой составляющей фазового дрожания может составить до  $1/7$  тактового интервала для компонентных потоков 2048 и 8448 кбит/с и до  $1/5$  тактового интервала для компонентного потока 34368 кбит/с.

### **2.3. Фазовые дрожания, вырабатываемые электронными компонентами**

Возникновение дрожаний фазы сигналов хронирования, вырабатываемого задающим генератором, связано с двумя причинами. Первой является так называемый фликкер-шум электронных компонентов, интенсивность которого имеет обратную зависимость от частоты ( $1/f$  - шум). Другая причина состоит в статистической неопределенности переходов в сигналах, вызывающей фазовый шум в логических схемах. Оба этих источника не имеют большого значения из-за малых величин дрожаний по сравнению с дрожаниями от других ранее рассмотренных источников.

### **2.4. Дрейф фазы (вондер)**

Одним из факторов меняющихся внешних условий является изменение задержки распространения среды передачи (кабеля или эфира). Например, для кабеля большой протяженности изменение фазы от пика до пика может составлять десятки тактовых интервалов в зависимости от времени года. Дрейф фазы определяется как долговременные изменения значащих моментов цифрового сигнала от их эталонных положений, частота которых лежит ниже 10 Гц. Некоторые виды оборудования, например линейные тракты или аппаратура временного группообразования с цифровым выравниванием скоростей, являются прозрачными для таких низкочастотных изменений фазы. Другие, такие как цифровые коммутаторы или оборудование синхронного объединения, могут потребовать применения некоторых вспомогательных мер, например, установки на входах дополнительной буферной памяти определенного объема.

## **3. Накопление фазовых дрожаний в цифровых сетях**

### **3.1. Цепь последовательно соединенных однородных регенераторов**

Регенераторы, используемые в линейных трактах первичной сети, являются полностью регенеративными и самохронизирующимися, так что временные соотношения в сигналах на их выходах управляются хронизирующим колебанием, выделенным из поступающего сигнала. Теоретически установлено, что в части передачи фазовых дрожаний, имеющих в передаваемом сигнале, регенератор с самохронизацией ведет себя как фильтр нижних частот, представляющий собой низкочастотный эквивалент избирательной цепи выделения хронирования. Как было показано ранее, дрожания фазы вырабатываются каждым регенератором, и эти дополнительные дрожания могут быть приписаны эквивалентному источнику дрожаний на его входе. Результаты многочисленных теоретических и экспериментальных исследований, обобщенные в [3], показали: если эти дрожания имеют случайный характер, а их среднеквадратическое значение одинаково в каждом регенераторе, то суммарная величина среднеквадратичных дрожаний на выходе цепи из  $N$  последовательно соединенных регенераторов будет в корень четвертой степени из  $N$  раз выше создаваемых в одном регенераторе.

Однако, некоторая часть дрожаний фазы зависит от сообщения, а если они одинаковы в каждом регенераторе, можно предположить, что каждый регенератор добавляет в совпадающие моменты времени одинаковые по величине и характеру дрожания. В этом случае, при передаче случайного сигнала из-за эффекта фильтрации среднеквадратическая величина дрожаний на выходе цепочки из  $N$  регенераторов будет возрастать пропорционально  $N^d$ .

Реализация выделителя хронирования на основе ФАП резко снижая величину дрожаний фазы на выходе одиночного регенератора, увеличивает скорость их накопления в цепи из  $N$  таких устройств пропорционально  $N^d$ , где показатель степени  $d$  лежит в пределах  $1/2 < d < 1$  и зависит от характера петли ФАП.

Отклонения фазы, создаваемые при передаче сигнала, состоящего из двух групп символов, чередующихся с низкой частотой (испытательный сигнал-провокактор малореальный на практике) будут возрастать в цепи из  $N$  регенераторов пропорционально  $N$ . Реализация выделителя хронирования на основе фильтров ПАВ, часто используемая в регенераторах линейных трактов со скоростями передачи высших уровней иерархии, из-за больших собственных задержек в фильтрах, приводит к разрушению корреляции между выделенным сигналом хронирования и передаваемым цифровым потоком. Следствием этого является накопление дрожаний фазы подобное тому, которое имеет место для некоррелированных источников, т.е. пропорционально корню четвертой степени из  $N$ . Платой за это является увеличение относительных фазовых дрожаний в отдельно взятом регенераторе и, как следствие, некоторое снижение помехоустойчивости регенерации.

### **3.2. Оборудование временного группообразования**

Единственным типом дрожаний фазы в этом оборудовании, который может накапливаться в цифровых сетях, являются фазовые дрожания времени ожидания, имеющие частотные составляющие в пределах полосы ФАП демультимплектора. Предполагается, что темп накопления этих дрожаний будет иметь крутизну между квадратным корнем из  $N$  и корнем четвертой степени из  $N$ , где  $N$  - количество последовательно соединенных устройств группообразования в составе рассматриваемого тракта.

### **4. Подавление фазовых дрожаний**

Для снижения уровня фазовых дрожаний, появляющихся на выходах цифровых трактов большой протяженности, образующих цифровую сеть, используются следующие методы:

- разрушение регулярности структуры передаваемого сигнала, ответственной за появление интенсивно накапливаемых фазовых дрожаний, с помощью скремблирования;
- подавление уже накопленных дрожаний фазы устройствами подавления, по существу идентичным используемым при цифровом выравнивании для получения равномерности

временных интервалов в восстанавливаемых компонентных потоках в процессе разделения группового сигнала.

Применение скремблирования может привести к следующим неблагоприятным побочным явлениям:

- размножению ошибок, когда из-за одной ошибки при регенерации в скремблированном сигнале появляются несколько ошибок, при этом максимальная величина коэффициента размножения ошибок определяется числом обратных связей в структуре скремблера;
- влиянию на измеряемые характеристики дрожаний оборудования при проведении измерений с испытательным псевдослучайным сигналом, поэтому не следует использовать скремблеры, имеющие одинаковую структуру с генератором псевдослучайного сигнала, или даже имеющие длину цикла, кратную длине цикла испытательного сигнала.

Подавление фазовых дрожаний имеет малую эффективность при снижении уровня низкочастотных фазовых дрожаний и дрейфа фазы. Однако, в большинстве случаев наличие фазовых дрожаний на частотах в пределах полосы пропускания подавителя фазовых дрожаний не вызывает больших беспокойств, т.к. стандартная аппаратура цифровых систем передачи является прозрачной для них или же, как в случае цифровых станций, буферная память способна повторить их.

## **5. Нормирование фазовых дрожаний**

МСЭ-Т на основе результатов многолетних исследований, проведенных в разных странах, рекомендует следующую методологию нормирования фазовых дрожаний в плезиохронных цифровых сетях с иерархией на базе 2048 кбит/с:

- максимальный предел для сети должен определяться так, чтобы он не был превышен на любом иерархическом стыке;
- следует иметь рамочные ограничения на дрожание фазы в отдельных видах цифрового оборудования (временного группообразования, цифровых линейных трактов);
- измерения нормируемых показателей должны иметь единую технологическую основу, обеспечивающую сопоставимость результатов измерений дрожаний фазы и его накопления в национальных и международных сетях любой конфигурации.

### **5.1. Виды требований к показателям дрожаний и дрейфа фазы**

"Нормы на электрические параметры цифровых каналов и трактов магистральной и внутризональных первичных сетей" [1] устанавливают следующие виды требований к показателям дрожаний и дрейфа фазы:

- нормы на допустимые дрожания и дрейф фазы на входе тракта (на выходах цифрового оборудования и цифровых участков);
- сетевые предельные нормы на дрожание фазы в иерархических стыках;
- предельные нормы на фазовое дрожание цифрового оборудования и цифровых участков;
- нормы на характеристики передачи дрожания фазы.

### **5.2. Допуск на входные фазовые дрожания**

Цифровая сеть представляет собой совокупность соединенных между собой элементов, включающих в себя цифровые участки, аппаратуру временного группообразования и цифровые станции. Каждый из этих сетевых элементов имеет свойственный ему верхний предел по входным фазовым дрожаниям, превышение которого сопровождается сбоями и отказами в работе. Поэтому, в процессе эксплуатации сети, есть необходимость знать каковы эти пределы, отнормировать их и проводить их измерение на согласованной основе.

Нормирование допусков на входные фазовые дрожания основаны на испытаниях с помощью испытательного сигнала, имеющего синусоидальное дрожание фазы. Любое цифровое оборудование различных иерархических уровней должно без существенного

ухудшения своей работы выдерживать на своих входах цифровой псевдослучайный испытательный сигнал, регламентированный Рекомендацией O.150 [4], который модулирован по фазе синусоидальными сигналами с амплитудой, определяемой маской, представленной на рис. 3 и табл. 1.

**Полный размах  
дрожаний и дрейфа фазы  
(лог. шкала)**

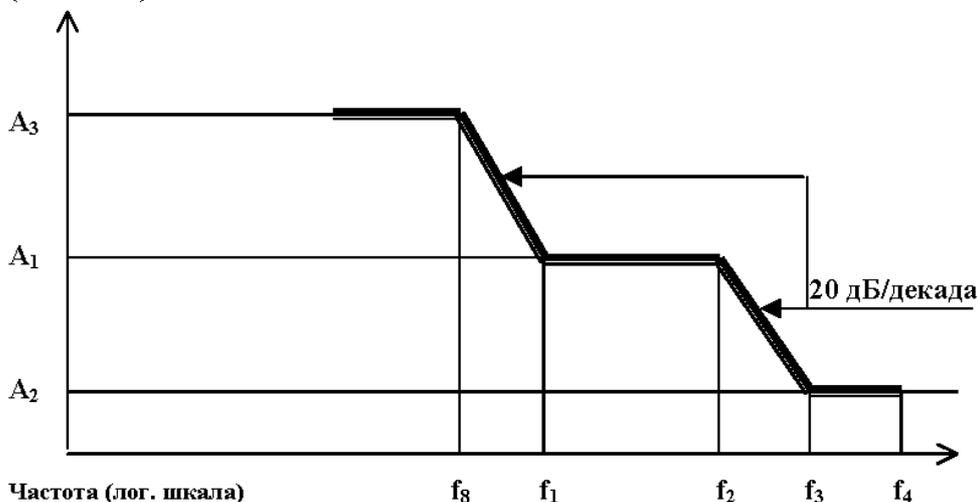


Рисунок 3. Нижний предел максимально допустимого дрожания фазы на иерархических входах.

Таблица 1

**Значения параметров допусков на входные дрожания и дрейф фазы**

Скорость кбит/с	Испыта- тельный сигнал	Полный размах в тактовых интервалах			Частота				
		A1	A2	A3	Гц			кГц	
					f8	f1	f2	f3	f4
64	$2^{11}-1$	0,25	0,05	-	-	20	600	3	20
2048	$2^{15}-1$	1,5	0,2	18	1,667	20	2400	18	100
8448	$2^{15}-1$	1,5	0,2	-	-	20	400	3	400
34368	$2^{23}-1$	1,5	0,15	-	-	100	1000	10	800
139264	$2^{23}-1$	1,5	0,075	-	-	200	500	10	3500

Синусоидальные фазовые дрожания, не моделируя шумоподобные случайные дрожания фазы цифровых сигналов, вырабатываемых внутри сети, позволяют создать четкую нормативную базу для оценки показателей дрожаний, которая обеспечивает устойчивую работу комплекса сетевого оборудования. Допускаемые амплитуды определяются как все амплитуды до (но, не включая) той амплитуды, которая вызывает нормированное ухудшение показателей ошибок. Критерий такого ухудшения - появление ошибок, определен в [1] как наибольшая амплитуда фазового дрожания на заданной частоте, при которой в 30-секундных последовательных измерительных интервалах появится не более двух секунд с ошибками (ES).

На рис. 4 показана структура схемы измерений допустимого дрожания фазы на входе согласно этому критерию.



Рисунок 4. Схема измерения допустимых входных дрожаний фазы

Технология измерений, регламентированная "Нормами" [1] для первичной сети РФ, состоит в следующих операциях:

- а) установить частоту входного дрожания фазы на нужное значение и отрегулировать его амплитуду на 0 тактовых интервалов;
- б) увеличить амплитуду фазового дрожания и определить область, в которой прекращается безошибочная работа. Снизить амплитуду дрожаний до уровня, при котором начинается эта область;
- в) зарегистрировать число секунд с ошибками за 30-секундный измерительный интервал (первоначальное измерение должно показывать отсутствие секунд с ошибками);
- г) увеличить амплитуду фазовых дрожаний до удовлетворения критерия появления ошибок и зарегистрировать установленный размах фазового дрожания и его частоту;
- д) повторить операции а) - г) с нужным числом частот.

Амплитуды, измеренных таким образом дрожаний, должны располагаться в области выше кривой маски, изображенной на рис. 3, которая является, таким образом, нижним пределом допускаемого входного фазового дрожания.

### 5.3. Нормирование выходных фазовых дрожаний

Уровень выходных фазовых дрожаний аппаратуры временного группообразования, цифровых участков и сетевых трактов регламентируется в виде предельных норм, которые не должны превышать при всех условиях эксплуатации. Совместимость этих предельных норм с минимальными допусками на входные фазовые дрожания потребовала стандартизацию условий испытаний, по результатам которых эти нормы будут определяться.

#### 5.3.1. Типовая схема измерений фазовых дрожаний

Для обеспечения согласования результатов измерений фазовых дрожаний, реально вырабатываемых в оборудовании цифровой сети, с допусками на выходные фазовые дрожания, установленными с помощью псевдослучайного испытательного сигнала с одночастотным синусоидальным дрожанием, МСЭ-Т разработана типовая двухполосная схема измерений, структура которой показана на рис. 5.

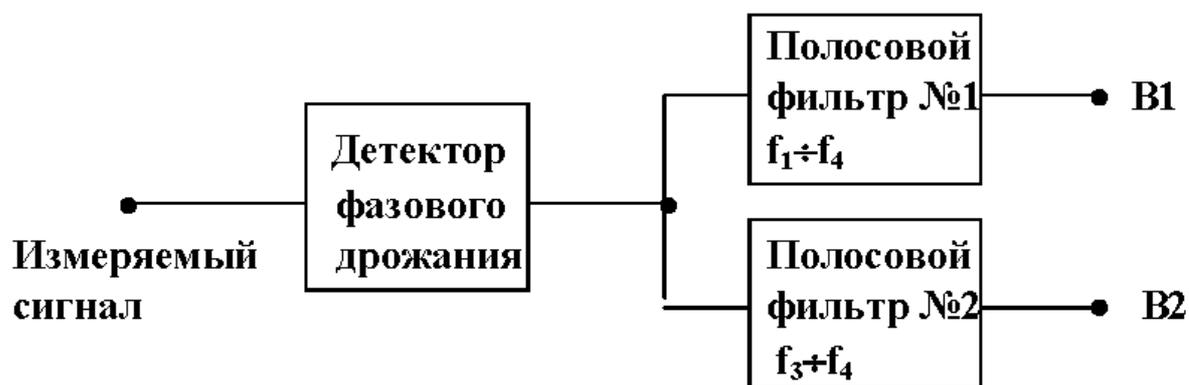


Рисунок 5. Схема измерения фазового дрожания

Высокочастотные фазовые дрожания, B2, выделяемые полосовым фильтром N2, характеризуют относительные фазовые дрожания выходного цифрового сигнала, ответственные за работу схем решения во входных цепях последующего оборудования. Поэтому их пиковая величина не должна превышать долей тактового интервала, чтобы заметно не снизить запас помехоустойчивости.

Для фазовых дрожаний с более низкими частотами, начиная с  $f_1$ , последующее цифровое оборудование будет прозрачным, так что с точки зрения помехоустойчивости может быть допущена их большая величина (пиковая амплитуда до единиц тактового интервала), однако и эта величина должна быть ограничена, чтобы не вызвать переполнения буферной памяти последующего оборудования, например временного группообразования.

Параметры фильтров, определяющих полосы частот измеряемых дрожаний, установлены международными рекомендациями МСЭ-Т G.823 и O.171 [2,3]. Основные параметры измерительных фильтров приведены в табл. 2.

Таблица 2

### Параметры измерительных фильтров

Скорость кбит/с	Частоты среза измерительных фильтров		
	$f_1$ (Гц)	$f_3$ (кГц)	$f_4$ (кГц)
64	20	3	20
2048	20	18	100
8448	20	3	400
34368	100	10	800
139264	200	10	3500

Затухание фильтров должно увеличиваться со скоростью, равной 20 дБ на декаду.

Эта технология измерения фазового дрожания в двух полосах частот послужила основой для нормирования максимально допустимого выходного дрожания фазы во всех сетевых элементах первичной сети РФ.

#### 5.3.2. Предельные нормы выходного фазового дрожания аппаратуры временного группообразования, цифрового участка и сетевого тракта

Максимальные значения полного B1 и высокочастотного B2 фазового дрожания на иерархических стыках цифровой сети, а также на выходах цифровых участков и аппаратуры временного группообразования, нормируемые в первичной сети РФ, приведены в табл. 3.

### Нормы на полные В1 и высокочастотные В2 фазовые дрожания

Скорость кбит/с	Длит-ть ТИ (нс)	Максимальное дрожание фазы, полный размах (ТИ)					
		Сетевой тракт		Врем.группообр.		Цифровой уч-к	
		В1	В2	В1	В2	В1	В2
64	15600	0,25	0,05	-	-	-	-
2048	488	1,5	0,2	0,25	0,05	0,75	0,2
8448	118	1,5	0,2	0,25	0,05	0,75	0,2
34368	29,1	1,5	0,15	0,3	0,05	0,75	0,15
139264	7,18	1,5	0,075	-	-	0,75	0,075

Данные, приведенные в табл. 3, представляют собой сводку требований из нескольких нормативных документов:

- а) для иерархического стыка сетевого тракта - по Рекомендации G.823 [3];
- б) для стандартного временного группообразования - по Рекомендациям G.742 и G.751 [5, 6];
- в) для цифровых участков - по Рекомендации G.921 [7].

Нормативные требования на фазовые дрожания аппаратуры временного группообразования и цифровых участков должны обеспечиваться в отсутствие фазового дрожания на их входах.

Максимальные фазовые дрожания на иерархических стыках цифровой сети должны удовлетворять приведенным нормам независимо от состава и количества оборудования, включенного в тракт перед рассматриваемым стыком.

Нормы на выходные дрожания фазы цифровых участков относятся к условным эталонным цифровым участкам (УЭЦУ) первичной сети (протяженностью 280 км для магистральной и 50 км для внутризональных сетей). Эти нормы установлены в предположении, что только несколько цифровых участков могут соединяться последовательно, и не учитывают фазовые дрожания временного группообразования. Если в реальных трактах эти условия не соблюдены, то может потребоваться использование дополнительных мер для снижения фазового дрожания, или даже уточнение норм.

Измерения выходного фазового дрожания подразделяются на две категории:

1. выходное фазовое дрожание на типовых стыках каналов и трактов;
2. собственное фазовое дрожание, вырабатываемое конкретным цифровым оборудованием.

Измерение фазового дрожания на типовом стыке проводится на сигналах реальной загрузки по схеме, приведенной на рис. 6.

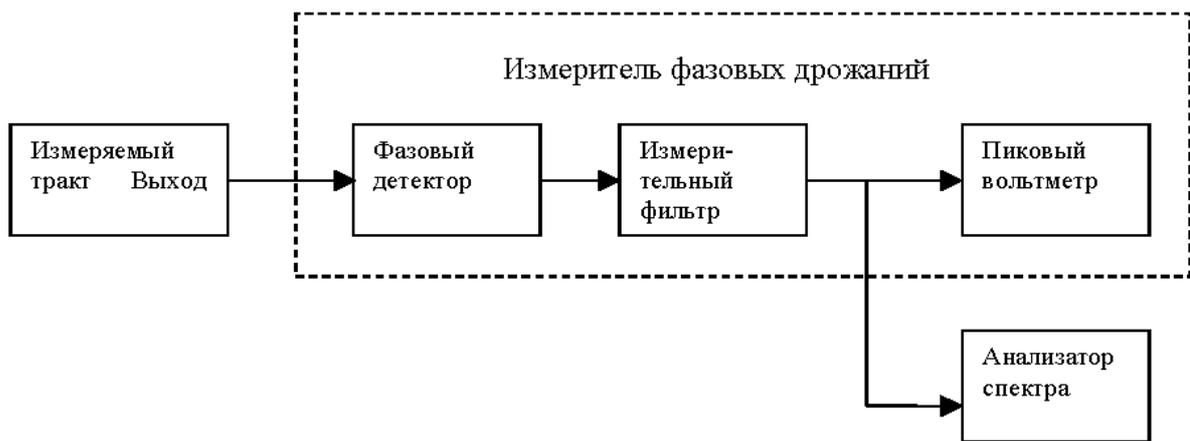


Рисунок 6. Измерение фазового дрожания на иерархическом стыке

"Нормы" РФ [1] рекомендуют следующий порядок проведения измерений:

- а) установить соединения, показанные на рис. 6 и убедиться, что измеряемый тракт работает без ошибок;
- б) выбрать нужный измерительный фильтр и измерить пиковую амплитуду выходного фазового дрожания в данной полосе частот, регистрируя максимальную величину в течение заданного интервала измерения;
- в) повторить операцию по пункту б) для всех нужных фильтров.

Дополнительный анализатор спектра, подключенный к выходу измерительного фильтра, позволяет наблюдать частотный спектр выходного фазового дрожания в установленной фильтром полосе частот.

Измерение собственного фазового дрожания отдельного цифрового оборудования требует применения управляемых испытательных последовательностей. Оно проводится по схеме рис. 4 при отключенном источнике сигнала с фазовым дрожанием и при подключенном к выходу измеряемого объекта измерителе фазового дрожания. Технология измерений аналогична используемой при измерениях выходного дрожания тракта.

#### 5.4. Нормирование характеристики передачи фазовых дрожаний

Характеристика передачи фазового дрожания определяет частотную зависимость отношения амплитуды выходного фазового дрожания к амплитуде входного фазового дрожания для данной скорости передачи. При обработке цифрового сигнала в большинстве видов оборудования происходит затухание высокочастотных фазовых дрожаний, имеющих на входе. Но некоторые виды оборудования, имеющие цепи хронирования на основе ФАП или на основе пассивных избирательных систем с выбросами амплитудно-частотной характеристики имеют тенденцию усиливать низкочастотные фазовые дрожания. Нормативные документы [5, 6, 7], относящиеся к частным видам оборудования, жестко определяют ограничительные пределы для характеристики передачи фазовых дрожаний. Типовая характеристика передачи определена Рекомендациями МСЭ-Т в виде маски, показанной на рис. 7.

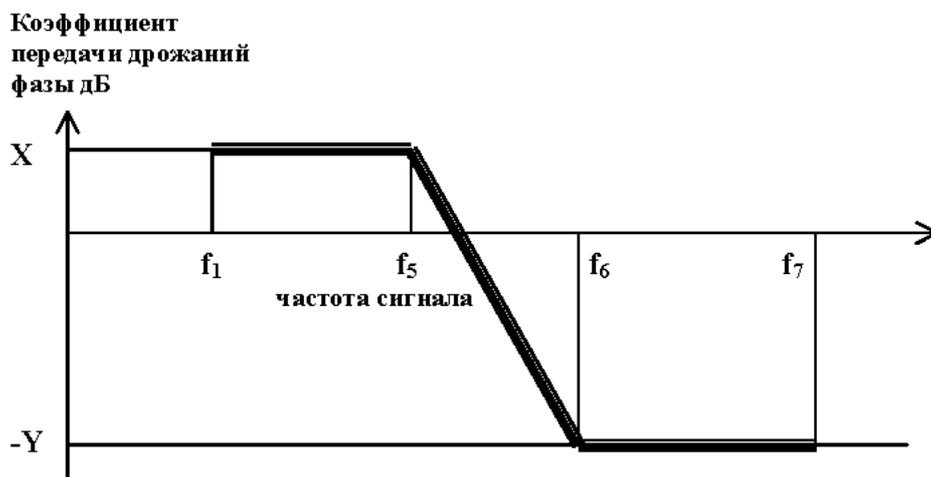


Рис. 7 Типовая характеристика передачи фазового дрожания

Значения уровней X (усиления) и Y (ослабления) и частот  $f_1$ ,  $f_5$ ,  $f_6$ ,  $f_7$  определены требованиями к конкретным видам оборудования:

- а) для компонентных потоков при временном группообразовании - Рекомендациями G.743, G.751 МСЭ-Т;
- б) для цифровых участков - Рекомендацией G.921.

В таблице 4 приведены нормы на характеристики передачи фазовых дрожаний компонентных потоков при стандартном временном группообразовании.

Таблица 4

### Нормирование характеристик передачи временного группообразования

Скорость кбит/с	X дБ	Y дБ	Частоты			
			$f_1$ (Гц)	$f_5$ (Гц)	$f_6$ (Гц)	$f_7$ (кГц)
2048	0,5	-19,5	<20	40	400	100
8448	0,5	-19,5	<20	100	1000	400
34368	0,5	-19,5	<20	300	3000	800

Нижний предел частоты ( $f_1$ ) должен быть, по возможности, более низким: значение 5÷10 Гц считается приемлемым. Для цифровых участков Рекомендация G.921 упоминает лишь одно требование - на величину усиления X: в любом случае норма на усиление не должна превышать 1 дБ. Нормы РФ [1] допускают на внутризональных сетях для участков со скоростью 2048 кбит/с большую величину усиления фазового дрожания - до 3 дБ.

Измерение характеристики передачи фазового дрожания производится с помощью испытательного псевдослучайного сигнала, модулированного синусоидальным фазовым дрожанием, по схеме рис. 4 при подключенном к выходу измерителе фазовых дрожаний. В настоящее время нет установленной методики проведения таких измерений, поэтому в сложившихся условиях считаем целесообразным, проводить их при уровне входных дрожаний в районе 1/2 от предельных норм. Операции при проведении измерений аналогичны описанным ранее в разделе 5.2.

### Заключение

Цель, поставленная в данной статье, - разъяснение природы явления фазового дрожания в цифровой сети и существующего подхода к их нормированию и измерению, который регламентирован Рекомендациями МСЭ-Т и использован в нормативных документах РФ, определяющих электрические параметры цифровых трактов первичной сети. По своим свойствам (причинам возникновения, характеру передачи и накопления) фазовые дрожания в цифровой сети можно сравнить с шумами в аналоговой сети. Но хотя оба эти ухудшения имеют тенденцию накопления в процессе передачи информации по сети,

существенное отличие состоит в том, что фазовые дрожания могут быть снижены до любого желаемого уровня, чтобы обеспечить удовлетворение установленных характеристик.

### **Литература**

1. Нормы на электрические параметры цифровых каналов и трактов магистральной и внутризоновых первичных сетей. Введены приказом No92 Министерства связи Российской Федерации с 01.10.96 г.
2. Рекомендация O.171 - Аппаратура для измерения дрожания и дрейфа фазы в цифровых системах, основанных на плезиохронной цифровой иерархии.
3. Рекомендация G.823 - Управление дрожанием и дрейфом фазы в цифровых сетях, основанных на иерархии 2048 кбит/с.
4. Рекомендация O.150 - Цифровые испытательные последовательности для измерения качественных показателей цифровой аппаратуры передачи.
5. Рекомендация G.742 - Аппаратура вторичного цифрового группообразования, работающая со скоростью передачи 8448 кбит/с и использующая положительное цифровое выравнивание.
6. Рекомендация G.751 - Аппаратура цифрового группообразования, работающая на скорости передачи третьего порядка 34368 кбит/с и на скорости передачи четвертого порядка 139264 кбит/с и использующая положительное цифровое выравнивание.
7. Рекомендация G.921 - Цифровые участки, основанные на иерархии 2048 кбит/с.