



МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

МСЭ-Т

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

O.172

(04/2005)

СЕРИЯ О: ТРЕБОВАНИЯ К ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ
АППАРАТУРЕ

Аппаратура для измерения цифровых и
аналоговых/цифровых параметров

**Аппаратура для измерения фазового
дрожания и дрейфа фазы для цифровых
систем, построенных на основе синхронной
цифровой иерархии (СЦИ)**

Рекомендация МСЭ-Т O.172

РЕКОМЕНДАЦИИ МСЭ-Т СЕРИИ О
ТРЕБОВАНИЯ К ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЕ

Общие положения	O.1–O.9
Доступ для технического обслуживания	O.10–O.19
Автоматические и полуавтоматические измерительные системы	O.20–O.39
Аппаратура для измерения аналоговых параметров	O.40–O.129
Аппаратура для измерения цифровых и аналоговых/цифровых параметров	O.130–O.199
Аппаратура для измерения параметров оптических каналов	O.200–O.209

Для получения более подробной информации просьба обращаться к перечню Рекомендаций МСЭ-Т.

Рекомендация МСЭ-Т О.172

Аппаратура для измерения фазового дрожания и дрейфа фазы для цифровых систем, построенных на основе синхронной цифровой иерархии (СЦИ)

Резюме

Настоящая Рекомендация определяет инструментальные средства, используемые для формирования и измерения фазового дрожания и дрейфа фазы в цифровых системах, построенных на основе СЦИ. В рекомендации рассмотрены требования к измерениям как для линейных СЦИ интерфейсов, так и для компонентных СЦИ интерфейсов, функционирующих со скоростями передачи ПЦИ.

Требования к характеристикам оборудования для измерения фазового дрожания и дрейфа фазы, которые определены в данной Рекомендации, должны обязательно выполняться, для того чтобы гарантировать последовательность результатов, получаемых при использовании оборудования различных производителей.

Источник

Рекомендация МСЭ-Т О.172 утверждена 13 апреля 2005 года 4-й Исследовательской комиссией МСЭ-Т (2005–2008 гг.) в соответствии с процедурой, изложенной в Рекомендации МСЭ-Т А.8.

Ключевые слова

Допуск на фазовое дрожание входного сигнала, допуск на дрейф фазы входного сигнала, генерирование фазового дрожания, измерение фазового дрожания, Функция передачи фазового дрожания, выходное фазовое дрожание, выходной дрейф фазы, фазовые переходы, фазовое дрожание указателя, генерирование последовательности указателя, генерирование дрейфа фазы, измерение дрейфа фазы, передача шума дрейфа фазы.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Международный союз электросвязи (МСЭ) является специализированным учреждением Организации Объединенных Наций в области электросвязи. Сектор стандартизации электросвязи МСЭ (МСЭ-Т) – постоянный орган МСЭ. МСЭ-Т отвечает за изучение технических, эксплуатационных и тарифных вопросов и за выпуск Рекомендаций по ним с целью стандартизации электросвязи на всемирной основе.

На Всемирной ассамблее по стандартизации электросвязи (ВАСЭ), которая проводится каждые четыре года, определяются темы для изучения Исследовательскими комиссиями МСЭ-Т, которые, в свою очередь, вырабатывают Рекомендации по этим темам.

Утверждение Рекомендаций МСЭ-Т осуществляется в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции 1 ВАСЭ.

В некоторых областях информационных технологий, которые входят в компетенцию МСЭ-Т, необходимые стандарты разрабатываются на основе сотрудничества с ИСО и МЭК.

ПРИМЕЧАНИЕ

В настоящей Рекомендации термин "администрация" используется для краткости и обозначает как администрацию электросвязи, так и признанную эксплуатационную организацию.

Соблюдение положений данной Рекомендации носит добровольный характер. Однако в Рекомендации могут содержаться определенные обязательные положения (например, для обеспечения возможности взаимодействия или применимости), и соблюдение положений данной Рекомендации достигается в случае выполнения всех этих обязательных положений. Для выражения необходимости выполнения требований используется синтаксис долженствования и соответствующие слова (такие, как "должен" и т. п.), а также их отрицательные эквиваленты. Использование этих слов не предполагает, что соблюдение положений данной Рекомендации является обязательным для какой-либо из сторон.

ПРАВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

МСЭ обращает внимание на вероятность того, что практическое применение или реализация этой Рекомендации может включать использование заявленного права интеллектуальной собственности. МСЭ не занимает какую бы то ни было позицию относительно подтверждения, обоснованности или применимости заявленных прав интеллектуальной собственности, независимо от того, отстаиваются ли они членами МСЭ или другими сторонами вне процесса подготовки Рекомендации.

На момент утверждения настоящей Рекомендации МСЭ не получил извещение об интеллектуальной собственности, защищенной патентами, которые могут потребоваться для выполнения этой Рекомендации. Однако те, кто будет применять Рекомендацию, должны иметь в виду, что это может не отражать самую последнюю информацию, и поэтому им настоятельно рекомендуется обращаться к патентной базе данных БСЭ.

© ITU 2005

Все права сохранены. Никакая часть данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких-либо средств без письменного разрешения МСЭ.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1	Область применения 1
2	Ссылки 1
2.1	Нормативные ссылки 1
2.2	Информативные ссылки 2
3	Определения 2
4	Сокращения 3
5	Условные обозначения 3
6	Функциональная блок-схема 4
7	Интерфейсы 4
7.1	Оптические интерфейсы 4
7.2	Электрические интерфейсы 5
7.3	Ввод тактовых импульсов внешнего опорного генератора 5
7.4	Ввод чувствительности интерфейса 5
8	Функция генерирования фазового дрожания/дрейфа фазы 5
8.1	Источник модуляции 5
8.2	Генератор тактовой частоты 6
8.3	Генератор последовательности цифровых испытательных сигналов 6
8.4	Генератор последовательности указателей 7
8.5	Минимальные возможности генерирования фазового дрожания/дрейфа фазы 8
8.6	Точность генерирования 9
9	Функция измерения фазового дрожания 11
9.1	Опорный синхросигнал 11
9.2	Измерительные возможности 11
9.3	Ширина полосы частот измерений 13
9.4	Точность измерений 15
9.5	Точность измерений передачи фазового дрожания 18
9.6	Дополнительные функции 18
10	Функция измерения дрейфа фазы 18
10.1	Опорный синхросигнал 18
10.2	Измерение ИВИ (искажение временного интервала) 18
10.3	Измерение динамического ИВИ (искажение временного интервала) 19
10.4	Измерение МИВИ (максимальное искажение временного интервала) 20
10.5	Измерение ОтВр (отклонение времени) 22
10.6	Измерение сдвига частоты 23
10.7	Измерение скорости ухода частоты 24
11	Функция генерирования шума из-за дрейфа отклонения времени 26

	Стр.
12	Функция генерирования шума из-за дрейфа МИВИ 26
13	Эксплуатационная обстановка 26
Приложение А – Структурированные испытательные сигналы для измерения фазового дрожания 27	
А.1	Введение 27
А.2	Структура испытательного сигнала для STM-N сигналов 27
А.3	Структура испытательного сигнала для составных сигналов STM-N 28
Приложение В – Определение ошибки размаха крутизны фазовой характеристики из-за ограниченности полосы 29	
Приложение С – Верхний предел значения МИВИ для шума из-за дрейфа значения ОтВр 30	
Дополнение I – Руководящие указания по измерению фазового дрожания в системах СЦИ 32	
Дополнение II – Руководящие указания по измерению дрейфа фазы в системах СЦИ 33	
II.1	Измерение дрейфа фазы 33
II.2	Измерение стабильности тактовой частоты 34
Дополнение III – Руководящие указания по генерированию испытательной последовательности указателей 35	
Дополнение IV – Общий результат применения функции измерения фазового дрожания 36	
IV.1	Введение 36
IV.2	Параметры измерительного фильтра 36
IV.3	Ограничения маски для частотной характеристики измерительного фильтра верхних частот 36
Дополнение V – Проверка алгоритмов расчета МИВИ и ОтВр 38	
V.1	Функциональное описание источника шума ИВИ 38
V.2	Первый пример генератора шума ИВИ 38
V.3	Второй пример генератора шума ИВИ 38
Дополнение VI – Оценка генерирования ИВИ 39	
Дополнение VII – Методика проверки точности результатов измерения и присущей им фиксированной ошибки 42	
VII.1	Описание и применение проверки 42
VII.2	Реализация системы 42
VII.3	Результаты и их интерпретация 45
Дополнение VIII – Метод описания фазового дрожания, присущего передаче сигналов 47	
VIII.1	Описание и применение проверки 47
VIII.2	Методика 47
VIII.3	Состав диагностических испытаний 49
VIII.4	Расчет величины размаха на основании функции распределения вероятностей 50

Введение

Временные характеристики и показатели синхронизации СЦИ сетей и оборудования СЦИ сетей определяются во многих рекомендациях МСЭ-Т с применением параметров фазовое дрожание и дрейф фазы. Настоящая Рекомендация определяет различные характеристики измерительного оборудования фазового дрожания/дрейфа фазы, которые требуются для выполнения требований этих рекомендаций МСЭ-Т и для выполнения других испытательных и измерительных задач.

Настоящая Рекомендация разработана для обеспечения максимальной совместимости с существующими требованиями к СЦИ сетям и измерительному оборудованию, сохраняя при этом, где возможно, совместимость "назад" с соответствующими требованиями к оборудованию ПЦИ, изложенными в Рек. МСЭ-Т О.171 [18].

Рекомендация МСЭ-Т О.172

Аппаратура для измерения фазового дрожания и дрейфа фазы для цифровых систем, построенных на основе синхронной цифровой иерархии (СЦИ)

1 Область применения

Настоящая Рекомендация определяет измерительную аппаратуру для проведения испытаний, которая используется для генерирования и измерения временных характеристик фазового дрожания и дрейфа фазы синхронизации в цифровых системах, построенных на основе синхронной цифровой иерархии (СЦИ).

Настоящая Рекомендация также определяет требования к измерению компонентных цифровых сигналов СЦИ, работающих со скоростями передачи ПЦИ.

Измерительная аппаратура для проведения испытаний состоит, главным образом, из блоков, выполняющих функции измерения фазового дрожания/дрейфа фазы и функции генерирования фазового дрожания/дрейфа фазы. Измерения могут быть выполнены на физическом уровне систем СЦИ. В некоторых типах измерений может понадобиться также и блок измерения коэффициента ошибок по битам; он может входить в состав какого-либо устройства или быть отдельным устройством.

Измерительная аппаратура для проведения испытаний, используемая для генерирования и измерения фазового дрожания и дрейфа фазы в цифровых системах, построенных на основе плездохронной цифровой иерархии (ПЦИ), описана в Рек. МСЭ-Т О.171 [18].

Рекомендуется, чтобы Рек. МСЭ-Т G.783 [6], G.812 [9], G.813 [10], G.825 [13] и G.798 [15] рассматривались совместно с настоящей Рекомендацией.

2 Ссылки

2.1 Нормативные ссылки

Указанные ниже рекомендации МСЭ-Т и другие источники содержат положения, которые путем ссылки на них в данном тексте составляют положения настоящей Рекомендации. На момент публикации указанные издания были действующими. Все рекомендации и другие источники могут подвергаться пересмотру; поэтому всем пользователям данной Рекомендации предлагается изучить возможность применения последнего издания рекомендаций и других источников, перечисленных ниже. Список действующих в настоящее время рекомендаций МСЭ-Т регулярно публикуется. Ссылка на документ в данной Рекомендации не придает ему как отдельному документу статус рекомендации.

- [1] ITU-T Recommendation G.691 (2003), *Optical interfaces for single channel STM-64 and other SDH systems with optical amplifiers.*
- [2] ITU-T Recommendation G.693 (2005), *Optical interfaces for intra-office systems.*
- [3] ITU-T Recommendation G.703 (2001), *Physical/electrical characteristics of hierarchical digital interfaces.*
- [4] ITU-T Recommendation G.707/Y.1322 (2003), *Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH).*
- [5] ITU-T Recommendation G.772 (1993), *Protected monitoring points provided on digital transmission systems.*
- [6] Рекомендация МСЭ-Т G.783 (2004 г.), *Характеристики функциональных блоков оборудования для синхронной цифровой иерархии (СЦИ).*
- [7] ITU-T Recommendation G.810 (1996), *Definitions and terminology for synchronization networks.*
- [8] ITU-T Recommendation G.811 (1997), *Timing characteristics of primary reference clocks.*

- [9] ITU-T Recommendation G.812 (2004), *Timing requirements of slave clocks suitable for use as node clocks in synchronization networks.*
- [10] ITU-T Recommendation G.813 (2003), *Timing characteristics of SDH equipment slave clocks (SEC).*
- [11] ITU-T Recommendation G.823 (2000), *The control of jitter and wander within digital networks which are based on the 2048 kbit/s hierarchy.*
- [12] ITU-T Recommendation G.824 (2000), *The control of jitter and wander within digital networks which are based on the 1544 kbit/s hierarchy.*
- [13] ITU-T Recommendation G.825 (2000), *The control of jitter and wander within digital networks which are based on the synchronous digital hierarchy (SDH).*
- [14] ITU-T Recommendation G.957 (1999), *Optical interfaces for equipments and systems relating to the synchronous digital hierarchy.*
- [15] ITU-T Recommendation G.798 (2004), *Characteristics of optical transport network hierarchy equipment functional blocks.*
- [16] ITU-T Recommendation O.3 (1992), *Climatic conditions and relevant tests for measuring equipment.*
- [17] ITU-T Recommendation O.150 (1996), *General requirements for instrumentation for performance measurements on digital transmission equipment.*
- [18] ITU-T Recommendation O.171 (1997), *Timing jitter and wander measuring equipment for digital systems which are based on the plesiochronous digital hierarchy (PDH).*
- [19] ITU-T Recommendation O.181 (2002), *Equipment to assess error performance on STM-N interfaces.*
- [20] ITU-R Recommendation F.750-4 (2000), *Architectures and functional aspects of radio-relay systems for synchronous digital hierarchy (SDH)-based networks.*

2.2 Информативные ссылки

- [21] ANSI T1.105.03-2003, *Synchronous Optical Network (SONET) – Jitter and Wander at Network and Equipment Interfaces.**
- [22] ANSI T1.105.06-2002, *Synchronous Optical Network (SONET): Physical Layer Specifications.**

3 Определения

Для целей настоящей Рекомендации применяются следующие определения (см. Рек. МСЭ-Т G.810 [7]):

3.1 (временные характеристики) фазового дрожания: Кратковременные отклонения важных параметров цифрового сигнала от их идеальной позиции во времени (где термин "кратковременные" подразумевает, что частота этих отклонений превышает или равна 10 Гц).

3.2 дрейф фазы: Долговременные отклонения важных параметров цифрового сигнала от их идеальной позиции во времени (где термин "долговременные" подразумевает, что частота этих отклонений менее 10 Гц).

3.3 искажение временного интервала (функции): Разница между размером временного интервала, созданного тактовым генератором и размером того же самого временного интервала, созданного опорным генератором.

* Стандарты T1 применяются ATIS начиная с ноября 2003 года.

Полезно отметить, что в Рек.МСЭ-Т G.810 [7] приведены дополнительные определения и сокращения, используемые в рекомендациях по временным характеристикам и синхронизации. Она также содержит дополнительную информацию по необходимости ограничения изменений фазы и искажений в цифровых системах.

4 Сокращения

Настоящая Рекомендация использует следующие сокращения:

AU-n	Административный блок, уровень n
СМІ	Кодирование с инверсией кодовых посылок
МИВИ	Максимальное искажение временного интервала
NRZ	Без возвращения к нулю
ПЦИ	Плездохронная цифровая иерархия
PJE	Событие выравнивания указателя
ФАПЧ	Цепь фазовой автоподстройки частоты
ppm	Число частей на миллион
PRBS	Псевдослучайная последовательность битов
RMS	Среднеквадратический
СЦИ	Синхронная цифровая иерархия
STM-N	Синхронный транспортный модуль, уровень N
ОтВр	Отклонение времени
ИВИ	Искажение временного интервала
TSS	Структура тестового сигнала
TU-m	Вторичный блок, уровень m
UI	Единичный интервал
U _{pp}	Размах единичного интервала

5 Условные обозначения

Для целей настоящей Рекомендации применяются следующие условные обозначения:

- a) Конкретные используемые сигналы интерфейсов обозначаются либо их стандартными форматами сигнала, например STM-1, либо скоростью передачи, например 139 264 кбит/с. Физический формат интерфейсов СЦИ по умолчанию считается оптическим, а физический формат интерфейсов ПЦИ по умолчанию считается электрическим.
- b) Там, где в настоящей Рекомендации специально используется электрическая форма интерфейса СЦИ, этот интерфейс обозначается знаком "e", например STM-1e (см. также раздел 7).
- c) Конкретные используемые интерфейсы могут быть либо линейными СЦИ интерфейсами, либо компонентными СЦИ интерфейсами. В настоящей Рекомендации, линейными СЦИ интерфейсами называются те, что поддерживают сигналы STM-N, а компонентными СЦИ интерфейсами называются те, что поддерживают сигналы, работающие со скоростями ПЦИ.

6 Функциональная блок-схема

На рисунке 1 в общей форме показана блок-схема оборудования, где обозначены основные функции, рассмотренные в настоящей Рекомендации. Рисунок не описывает конкретную реализацию.

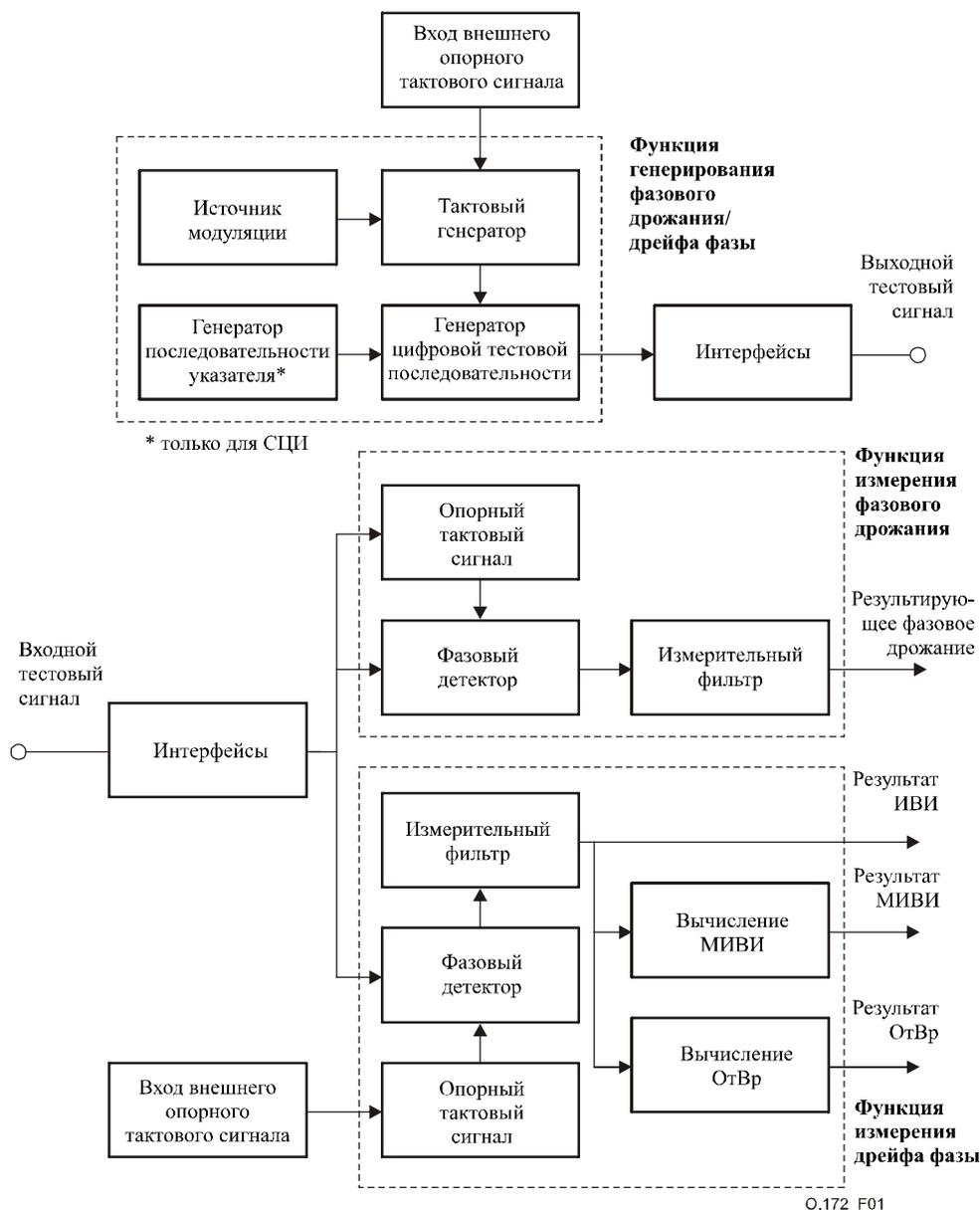


Рисунок 1/О.172 – Функциональная блок-схема испытательного оборудования для измерения фазового дрожания и дрейфа фазы

7 Интерфейсы

7.1 Оптические интерфейсы

Оборудование должно быть способно работать на одной или нескольких скоростях передачи и с соответствующими характеристиками оптического интерфейса, которые определены в соответствующих разделах Рек. МСЭ-Т G.957 [14] и G.691 [1], а также в стандарте ANSI T1.105.06 [22] (для интерфейсов со скоростями 51 840 кбит/с).

- STM-0 51 840 кбит/с
- STM-1 155 520 кбит/с
- STM-4 622 080 кбит/с

- STM-16 2 488 320 кбит/с
- STM-64 9 953 280 кбит/с
- STM-256 39 813 120 кбит/с

7.2 Электрические интерфейсы

Оборудование должно быть способно работать на одной или нескольких скоростях передачи и с соответствующими характеристиками электрического интерфейса, которые определены в соответствующих разделах Рек. МСЭ-T G.703 [3], а также в Рек. МСЭ-R F.750-4 [20] (для электрических интерфейсов со скоростями 51 840 кбит/с). Однако для всех скоростей сигнал, подаваемый на вход цепи измерения фазового дрожания/дрейфа фазы, должен быть номинальным прямоугольным импульсом. Сигналы другой формы могут приводить к межсимвольной интерференции, которую невозможно скорректировать при помощи простого линейного эквалайзера – и, таким образом, влиять на точность измерений.

- 1544 кбит/с
- 2048 кбит/с
- 6312 кбит/с
- 34 368 кбит/с
- 44 736 кбит/с
- 51 840 кбит/с, STM-0e
- 139 264 кбит/с
- 155 520 кбит/с, STM-1e

Входной порт функции измерения фазового дрожания/дрейфа фазы и выходной порт функции генерирования фазового дрожания/дрейфа фазы должны обладать возвратными потерями, определенными в соответствующих разделах Рек. МСЭ-T G.703 [3].

Как вариант, функция измерения фазового дрожания/дрейфа фазы должна быть способна измерить фазовое дрожание/дрейф фазы на выходном порту тактового генератора. Когда такой доступ предусмотрен цифровым оборудованием.

7.3 Ввод тактовых импульсов внешнего опорного генератора

Измерительное оборудование должно принимать в качестве опорных сигналы данных со скоростями 1544 кбит/с или 2048 кбит/с. Если может быть принят сигнал со скоростью 2048 кбит/с, то оборудование должно также принимать в качестве опорного тактовый сигнал с частотой 2048 кГц. Характеристики тактовых сигналов должны соответствовать Рек. МСЭ-T G.703 [3].

7.4 Ввод чувствительности интерфейса

Функция измерения фазового дрожания/дрейфа фазы необходима для удовлетворительной работы в следующих входных условиях:

- a) спецификация для оборудования оптических интерфейсов определена Рек. МСЭ-T G.957 [14] и G.691 [1];
- b) спецификация для оборудования электрических интерфейсов определена Рек. МСЭ-T G.703 [3];
- c) защищенные точки контроля определены Рек. МСЭ-T G.772 [5].

8 Функция генерирования фазового дрожания/дрейфа фазы

Испытания цифрового оборудования могут быть выполнены либо с использованием цифрового сигнала, которому присущи фазовое дрожание и дрейф фазы, либо с использованием цифрового сигнала, который не испытывает ни фазового дрожания, ни дрейфа фазы. Для измерений потребуется генератор цифровых испытательных сигналов, генератор тактовой частоты и источник модуляции, показанные на рисунке 1.

8.1 Источник модуляции

Источник модуляции, требуемый для выполнения измерений, определенных соответствующими рекомендациями, может быть введен в состав генератора тактовой частоты и/или генератора

цифровых испытательных сигналов, либо он может существовать отдельно. В настоящей Рекомендации определено, что источник модуляции должен быть синусоидальным. Однако для некоторых испытаний могут требоваться другие сигналы.

8.2 Генератор тактовой частоты

Должна существовать возможность модуляции фазы сигнала генератора тактовой частоты от источника модуляции и определять размах девиации фазы модулированного сигнала.

Созданный размах фазового дрожания/дрейфа фазы и модулирующие частоты должны отвечать минимальным требованиям таблицы 3 и рисунка 3.

Если имеются выходные интерфейсы для модулированного сигнала тактовой частоты и/или внешнего опорного тактового сигнала, то минимальная амплитуда должна иметь размах 1 В на сопротивлении 75 Ом, и размах 0,25 В на сопротивлении 50 Ом.

8.2.1 Точность генератора тактовой частоты

Отклонение частоты внутреннего тактового сигнала от его номинального значения не должна превышать величины $\pm 4,6$ ppm.

Как вариант, генератор тактовой частоты может создавать регулируемый сдвиг частоты на величину, достаточную для того, чтобы выполнять измерения в диапазоне допуска отклонений тактовой частоты измеряемого оборудования, например, от ± 10 ppm до ± 100 ppm, как определено для различных скоростей передачи в Рек. МСЭ-Т G.703 [3] и G.813 [10].

Необходимо иметь возможность синхронизировать генерацию функции от внешнего источника тактовой частоты с некоторой точностью; см. также п. 7.3.

8.3 Генератор последовательности цифровых испытательных сигналов

Функция измерения фазового дрожания/дрейфа фазы, как правило, будет использоваться совместно с некоторым пригодным генератором цифровых испытательных сигналов, обеспечивая следующие возможности.

8.3.1 Последовательности цифровых испытательных сигналов

Генератор цифровых испытательных сигналов должен быть способен создавать один или несколько следующих сигналов, предназначенных для использования на скоростях STM-N:

- a) цикловые СЦИ сигналы в соответствии с Рек. МСЭ-Т G.707/Y.1322 [4];
- b) структурированные испытательные сигналы в соответствии с Рек. МСЭ-Т O.181 [19], в зависимости от типа испытываемого элемента сети;
- c) структурированные испытательные сигналы, определенные в Приложении А.

8.3.2 Цифровые испытательные сигналы для компонентных СЦИ сигналов

Генератор тестовой последовательности должен быть способен создавать следующие сигналы:

Для использования на скоростях 2048 кбит/с, 6312 кбит/с и 44 736 кбит/с, псевдослучайная тестовая последовательность длиной $2^{15} - 1$, соответствующая п. 5.3/O.150 [17].

Для использования на скоростях 1544 кбит/с, 6312 кбит/с и 44 736 кбит/с, псевдослучайная тестовая последовательность длиной $2^{20} - 1$, соответствующая п. 5.5/O.150 [17].

Для использования на скоростях 34 368 кбит/с и 139 264 кбит/с, псевдослучайная тестовая последовательность $2^{23} - 1$, соответствующая п. 5.6/O.150 [17].

Для использования на всех скоростях повторяющаяся тестовая последовательность 10001000.

Как вариант, и для использования на всех скоростях:

- a) две свободно программируемые 8-битовые тестовые последовательности, которые можно чередовать с небольшой скоростью (например, от 10 Гц до 100 Гц);
- b) свободно программируемая 16-битовая тестовая последовательность.

8.4 Генератор последовательности указателей

Для того чтобы измерить влияние события подтверждения указателя (PJE) на оборудование СЦИ десинхронизатора, генератор цифровых испытательных сигналов должен быть способен генерировать полные тестовые последовательности подтверждений указателя в соответствии с разделами Рек. МСЭ-Т G.783 [6].

Как вариант, оборудование может иметь дополнительные функции управления PJE для упрощения дальнейшего измерения фазового дрожания указателя.

Дополнение III содержит дополнительную информацию о конфигурации измерительного комплекса и его способности к измерению с применением последовательностей указателей.

8.4.1 Возможность генерирования тестовых последовательностей указателей

Оборудование должно создавать минимальный набор тестовых последовательностей указателей, применимых к конкретным компонентным скоростям СЦИ, обозначенных как "X" в таблице 1, в соответствии с разделом 10/G.783 [6].

Для конкретных компонентных скоростей СЦИ, регулировка указателей должна применяться либо к AU-n указателям, либо к TU-m указателям, как показано в таблице 1. Необходимо иметь возможность выбора направления или поляризации тестовой последовательности указателей среди повышающих или понижающих значений указателя.

Должна выполняться испытательная процедура, описанная в разделе 15/G.783 [6].

Таблица 1/О.172 – G.783 описание тестовой последовательности указателей

Тестовая последовательность указателей в соответствии с G.783		Компонентная скорость СЦИ (кбит/с) и контейнер СЦИ					
		1 544	2 048	6 312	34 368	44 736	139 264
ID	Описание	TU-11	TU-12	TU-2	TU-3	AU-3	AU-4
a	Одиночный переменный		X	(Примечание)	X		X
b	Регулярный + двойной		X		X		X
c	Регулярный + пропущенный		X		X		X
d	Двойной переменный				X		X
e	Одиночный	X				X	
f	Импульсный					X	
g1	Периодический 87-3					X	X
g2	Периодический 87-3 с дополнением					X	X
g3	Периодический 87-3 с удалением					X	X
h1	Периодический	X				X	
h2	Периодический с дополнением	X				X	
h3	Периодический с удалением	X				X	
i	С переходной фазой					X	
j1	Периодический 26-1	X					
j2	Периодический 26-1 с дополнением	X					
j3	Периодический 26-1 с удалением	X					

ПРИМЕЧАНИЕ. – Тестовые последовательности указателей для скорости 6312 кбит/с, TU-2 исследуются.

Интервалы времени между PJE внутри тестовой последовательности зависят от конкретной последовательности и скорости передачи испытуемого СЦИ сигнала. Точные детали последовательностей указателей, пригодных для конкретной скорости передачи, должны соответствовать Рек. МСЭ-Т G.783 [6]. В таблице 2 показаны интервалы времени, которые должны

быть между PJE конкретной скорости передачи СЦИ сигнала, эта таблица отображена также на рисунке 2. Интервалы времени T1 и T2 могут регулироваться до значений, превышающих минимальные, показанные в таблице 2.

Таблица 2/О.172 – Интервалы времени между событиями подтверждения указателя

Интервал времени	Компонентная скорость СЦИ (кбит/с)					
	1 544	2 048	6 312	34 368	44 736	139 264
T1 (минимум)	30 с	10 с	(Прим.)	10 с	30 с	10 с
T2 (минимум)	1 с	750 мс	(Прим.)	(Прим.)	34 мс	(Прим.)
T3	2 мс	2 мс	(Прим.)	(Прим.)	0,5 мс	(Прим.)

ПРИМЕЧАНИЕ. – Значение изучается в Рек. МСЭ-Т G.783 [6].



Рисунок 2/О.172 – Общая последовательность указателей G.783, иллюстрирующая интервалы времени из таблицы 1

8.5 Минимальные возможности генерирования фазового дрожания/дрейфа фазы

Амплитудно-частотная характеристика функции генерирования фазового дрожания/дрейфа фазы должна удовлетворять минимальным требованиям, показанным на рисунке 3 и в таблице 3 для линейных СЦИ сигналов или в таблице 3а для компонентных СЦИ сигналов.

Таблица 3/О.172 – Минимальная амплитуда фазового дрожания/дрейфа фазы генерируемого сигнала в зависимости от частоты фазового дрожания/дрейфа фазы для линейных СЦИ сигналов

Сигнал	Минимальный размах амплитуды фазового дрожания/дрейфа фазы [UIpp]					Контрольные точки частоты изменения фазового дрожания/дрейфа фазы [Гц]									
	A ₀	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	f ₀	f ₁₂	f ₁₁	f ₁₀	f ₉	f ₈	f ₁	f ₂	f ₃	f ₄
STM-0e, STM-0	*	*	20	2	0,2	*	*	*	*	10	30	300	2 к	20 к	400 к
STM-1e, STM-1	3 600	400	50	2	0,2	12 мк	178 мк	1,6 м	15,6 м	125 м	19,3	500	6,5 к	65 к	1,3 М
STM-4	14 400	1 600	200	2	0,2	12 мк	178 мк	1,6 м	15,6 м	125 м	9,65	1 к	25 к	250 к	5 М
STM-16	57 600	6 400	800	2	0,2	12 мк	178 мк	1,6 м	15,6 м	125 м	12,1	5 к	100 к	1 М	20 М
STM-64	230 400	25 600	3 200	2	0,2	12 мк	178 мк	1,6 м	15,6 м	125 м	12,1	20 к	400 к	4 М	80 М
STM-256	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – "*" означает, что значение не определено.
 ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Значения на базе требований Рек. МСЭ-Т G.825 [13].
 ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Значения STM-0 основаны на требованиях ANSI T1.105.03 [21].
 ПРИМЕЧАНИЕ 4. – FFS означает, что значение требует дальнейшего изучения.

Таблица 3а/О.172 – Минимальная амплитуда фазового дрожания/дрейфа фазы генерируемого сигнала в зависимости от частоты фазового дрожания/дрейфа фазы для компонентных СЦИ сигналов

Сигнал [кбит/с]	Минимальный размах амплитуды фазового дрожания/дрейфа фазы [UIpp]					Контрольные точки частоты изменения фазового дрожания/дрейфа фазы [Гц]									
	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	f_0	f_{12}	f_{11}	f_{10}	f_9	f_8	f_1	f_2	f_3	f_4
1 544	40	*	20	10	0,5	12 мк	50 м	*	*	100 м	5	10	400	8 к	40 к
2 048	50	*	30	10	0,5	12 мк	12 м	*	*	20 м	3,3	10	900	18 к	100 к
6 312	150	*	50	10	0,5	12 мк	3 м	*	*	10 м	0,4	2	1 600	32 к	60 к
34 368	200	*	50	10	0,5	10 м	50 м	*	*	200 м	20	100	1 000	20 к	800 к
44 736	1 000	*	100	10	0,5	12 мк	11 м	*	*	110 м	2,19	21,9	5 000	100 к	400 к
139 264	800	*	200	10	0,5	10 м	33 м	*	*	130 м	5	100	500	10 к	3 500 к

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – "*" означает, что значение не определено.
 ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Эти требования основаны на рассмотрении Рек. МСЭ-Т G.823 [11] и G.824 [12].

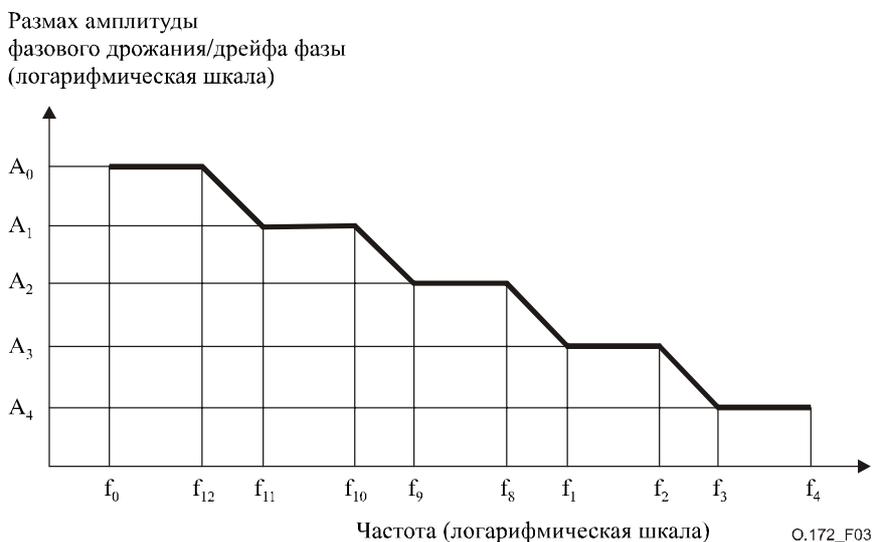


Рисунок 3/О.172 – амплитуда фазового дрожания/дрейфа фазы генерируемого сигнала в зависимости от частоты фазового дрожания/дрейфа фазы

8.6 Точность генерирования

Источник тестовых сигналов должен быть совместим с функцией измерения фазового дрожания/дрейфа фазы так, чтобы общая точность измерений не ухудшалась существенно. Точность генерирования может быть повышена за счет измерения фазового дрожания/дрейфа фазы, применимого к испытываемому оборудованию, и использования соответствующего устройства измерения фазового дрожания/дрейфа фазы.

Точность генерирования функции генерирования фазового дрожания/дрейфа фазы зависит от нескольких факторов, таких как фиксированная внутренняя ошибка, ошибка установки разрешения, искажения и частотная характеристика. Кроме того, имеется ошибка, являющаяся функцией реальных установок.

8.6.1 Амплитудно-фазовая ошибка

Ошибка генерирования амплитуды синусоидального сигнала фазового дрожания/дрейфа фазы должна быть менее, чем:

$$Q\% \text{ от установленного значения } \pm 0,02 \text{ UIpp,}$$

где Q – переменная ошибка, указанная в таблице 4 для линейных СЦИ сигналов и в таблице 4а для компонентных СЦИ сигналов. Частоты f_0, f_1, f_4 и f_9 , используемые в таблицах 4 и 4а, определены в таблицах 3 и 3а.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Настоящая Рекомендация не учитывает никаких широкополосных внутренних компонентов фазового дрожания/дрейфа фазы.

8.6.2 Ошибка крутизны фазовой характеристики

Размах ошибки крутизны фазовой характеристики из-за ограниченности полосы в единицах UI/c должны быть менее, чем:

$$\frac{(\pm 2,5 \cdot Q\% \text{ от установленного значения } \pm 0,05 UI_{pp}) \cdot 2\pi f_m}{\sqrt{1 + (f_m / f_{3\text{дБ}})^2}}$$

в диапазоне:

$$10 \text{ Гц} \leq f_m \leq 2 \cdot f_3,$$

где f_m – частота модуляции, $f_{3\text{дБ}} = 2 \cdot f_3 \pm 10\%$ полоса фильтра низких частот, f_3 определена в таблице 3 для линейных СЦИ сигналов и в таблице 3а для компонентных СЦИ сигналов, и Q – переменная ошибка, определенная в таблице 4 для линейных СЦИ сигналов и в таблице 4а для компонентных СЦИ сигналов. Частоты f_0, f_1, f_4 и f_9 , используемые в таблицах 4 и 4а определены в таблицах 3 и 3а.

Определение размаха ошибки крутизны фазовой характеристики из-за ограниченности полосы изложено в Приложении В.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Настоящая Рекомендация учитывает гармоники модуляции (в полосе фильтра низких частот) из-за искажений, не учитывает никаких широкополосных внутренних компонентов фазового дрожания/дрейфа фазы.

Таблица 4/О.172 – Переменная ошибка (Q) генерирования фазового дрожания/дрейфа линейного СЦИ сигнала

Сигнал	Ошибка, Q	Диапазон частот
STM-0e, STM-0	FFS	f_9-f_1
	$\pm 8\%$	f_1-f_4
STM-1e, STM-1	FFS	f_0-f_1
	$\pm 8\%$	$f_1-500 \text{ кГц}$
	$\pm 12\%$	$500 \text{ кГц}-f_4$
STM-4, STM-16, STM-64	FFS	f_0-f_1
	$\pm 8\%$	$f_1-500 \text{ кГц}$
	$\pm 12\%$	$500 \text{ кГц}-2 \text{ МГц}$
	$\pm 15\%$	$2 \text{ МГц}-f_4$
STM-256	FFS	FFS
ПРИМЕЧАНИЕ. – FFS означает, что значение требует дальнейшего изучения.		

Таблица 4а/О.172 – Переменная ошибка (Q) генерирования фазового дрожания/дрейфа компонентного СЦИ сигнала

Сигнал	Ошибка, Q	Диапазон частот
1 544, 2 048, 6 312, 44 736	$\pm 8\%$	f_1-f_4
34 368	$\pm 8\%$	$f_1-500 \text{ кГц}$
	$\pm 12\%$	$500 \text{ кГц}-f_4$
139 264	$\pm 8\%$	$f_1-500 \text{ кГц}$
	$\pm 12\%$	$500 \text{ кГц}-2 \text{ МГц}$
	$\pm 15\%$	$2 \text{ МГц}-f_4$

8.6.3 Внутреннее фазовое дрожание/дрейф фазы функции генерирования

Внутреннее фазовое дрожание функции генерирования фазового дрожания/дрейфа фазы, измеренное в полосе f_1 – f_4 , определенной в таблице 7 с амплитудой, выставленной в ноль, должно быть менее, чем:

$0,04 U_{pp}$ для выходного сигнала со структурой, определенной в Приложении А; или

$0,02 U_{pp}$ для тактового сигнала.

Спецификация максимально допустимого внутреннего дрейфа фазы требует дальнейшего изучения.

9 Функция измерения фазового дрожания

9.1 Опорный синхросигнал

Для фазового детектора требуется опорный синхросигнал. Для измерения сквозного фазового дрожания, он может быть получен в функции измерения фазового дрожания из входной цифровой тестовой последовательности. Для измерений на участке цепи он может быть получен из пригодного источника тактовой частоты.

9.2 Измерительные возможности

9.2.1 Диапазон измерений

Функция измерения фазового дрожания должна быть способна измерять размах фазового дрожания. Значения диапазонов измерений не являются обязательными, но для обеспечения совместимости зависимости амплитуды фазового дрожания от частоты фазового дрожания, характеристики функции измерения фазового дрожания должны удовлетворять минимальным требованиям рисунка 4 и таблицы 5 для линейных СЦИ сигналов или требованиям таблицы 5а для компонентных СЦИ сигналов. Частоты f_6 – f_4 определяют диапазон частот фазового дрожания, который должен быть измерен; возможность измерения частот ниже f_1 не является обязательной.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Работа функции измерения фазового дрожания на всех частотах одного диапазона частот f_6 – f_4 не является обязательной.

Таблица 5/О.172 – Минимальная амплитуда измеренного фазового дрожания в зависимости от частоты фазового дрожания

Сигнал	Минимальный размах амплитуды фазового дрожания [U _{pp}]			Контрольные точки частоты изменения фазового дрожания [Гц]					
	A ₂	A ₃	A ₄	f ₆	f ₇	f ₁	f ₂	f ₃	f ₄
STM-0e, STM-0	20	2	0,2	10	30	300	2 к	20 к	400 к
STM-1e	50	2	0,1	10	19,3	500	3,25 к	65 к	1,3 М
STM-1	50	2	0,2	10	19,3	500	6,5 к	65 к	1,3 М
STM-4	200	2	0,2	*	10	1 к	25 к	250 к	5 М
STM-16	800	2	0,2	10	12,1	5 к	100 к	1 М	20 М
STM-64	3 200	2	0,2	10	12,1	20 к	400 к	4 М	80 М
STM-256	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS

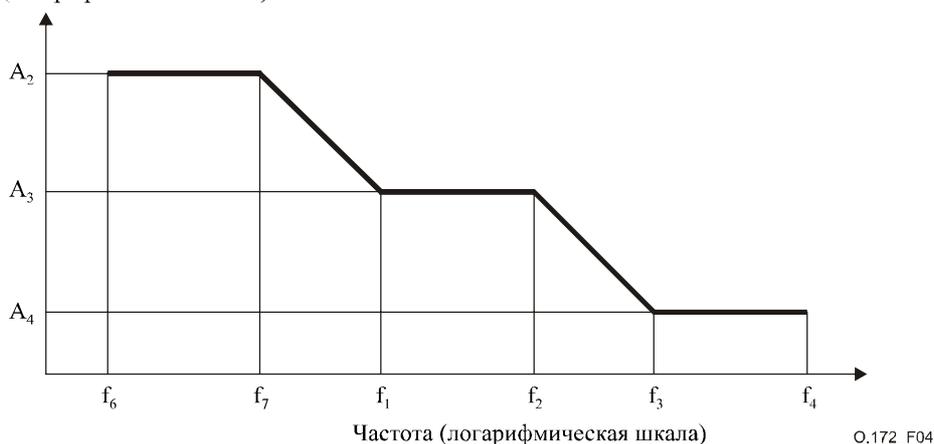
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – "*" означает, что значение не определено.
 ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Точность оборудования определена для частот в диапазоне от f_1 до f_4 .
 ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Значения для STM-0 основаны на требованиях ANSI T1.105.03 [21].

**Таблица 5а/О.171 – Минимальная амплитуда измеренного фазового дрожания
в зависимости от частоты фазового дрожания**

Сигнал [кбит/с]	Минимальный размах амплитуды фазового дрожания [UIpp]			Контрольные точки частоты изменения фазового дрожания [Гц]					
	A_2	A_3	A_4	f_6	f_7	f_1	f_2	f_3	f_4
1 544	*	10	0,5	*	*	10	400	8 к	40 к
2 048	*	10	0,5	*	*	20	900	18 к	100 к
6 312	*	10	0,5	*	*	10	1 600	32 к	60 к
34 368	*	10	0,5	*	*	100	1 000	20 к	800 к
44 736	*	10	0,5	*	*	10	5 000	100 к	400 к
139 264	*	10	0,5	*	*	200	500	10 к	3 500 к

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – "*" означает, что значение не определено.
ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Точность оборудования определена для частот в диапазоне от f_1 до f_4 .

Размах амплитуды
фазового дрожания/дрейфа фазы
(логарифмическая шкала)



**Рисунок 4/О.172 – Амплитуда измеренного фазового дрожания
в зависимости от частоты фазового дрожания**

9.2.2 Выбираемый порог

При измерении размаха фазового дрожания требуется иметь возможность посчитать число событий и определить период времени, в течение которого превышает данный выбираемый порог фазового дрожания. Как вариант, необходимо иметь возможность записать эти события при помощи внешнего счетчика.

Требуется иметь возможность установить порог в любой выбранное значение в диапазоне измерения функции измерения фазового дрожания.

9.2.3 Измерение среднеквадратического фазового дрожания

Измерение среднеквадратического фазового дрожания может выполняться внутри оборудования или с использованием внешнего аналогового выходного сигнала, упомянутого в п. 9.5.1.

9.2.4 Допуск отклонения фазы на входе для компонентных СЦИ сигналов

Испытательный комплекс должен допускать изменения фазы входного синусоидального сигнала на конкретных скоростях передачи, в соответствии с амплитудно-частотными спецификациями, показанными в таблице 6. Эти амплитудно-частотные значения представляют собой соответствующие тестовые последовательности указателя для наихудшего случая, определенные в Рек. МСЭ-Т G.783 [6].

Таблица 6/О.172 – Допуск отклонения фазы на входе измерительного комплекса при измерении компонентных СЦИ сигналов

Скорость передачи [кбит/с]	Изменение фазы на входе	
	Амплитуда [UIpp]	Частота [Гц]
1 544	17	3,0
2 048	30	0,5
6 312	FFS	FFS
34 368	22	5,0
44 736	60	1,5
139 264	75	1,5
ПРИМЕЧАНИЕ. – FFS означает, что значение требует дальнейшего изучения.		

В данном контексте, "допускает" означает, что испытательный комплекс должен измерять с точностью, лежащей в пределах, определенных в настоящей Рекомендации, с учетом, что изменения входной фазы могут быть уменьшены применяемыми измерительными фильтрами.

9.3 Ширина полосы частот измерений

Ширина полосы частот измерений должна быть ограничена, для того чтобы измерить спектры конкретного фазового дрожания, определенные в соответствующих рекомендациях и для других пользователей. Ширина полосы частот f_1 – f_4 или f_3 – f_4 функции измерения фазового дрожания должна быть установлена в соответствии с таблицей 7 для линейных СЦИ сигналов и с таблицей 7а для компонентных СЦИ сигналов.

Таблица 7/О.172 – Ширина полосы частот измерений функции измерения фазового дрожания для линейных СЦИ сигналов

Сигнал	Ширина полосы частот измерений фазового дрожания (на частотах по уровню –3 дБ)			
	f_1 [Гц] ФВЧ	f_{12} [Гц] ФВЧ	f_3 [Гц] ФВЧ	f_4 [Гц] ФНЧ
STM-0e, STM-0	100	–	20 к	400 к
STM-1e	500	–	65 к	1,3 М
STM-1	500	12 к	65 к	1,3 М
STM-4	1 к	12 к	250 к	5 М
STM-16	5 к	12 к	1 М	20 М
STM-64	20 к	–	4 М	80 М
STM-256	80 к	–	16 М	320 М
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Значения для STM-0 основаны на требованиях ANSI T1.105.03 [21].				
ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Значения для STM-256 являются предварительными, поскольку требования к сети еще не определены в Рек. МСЭ-Т G.825 [13].				
ПРИМЕЧАНИЕ 3. – ФВЧ f_{12} не обязателен.				

Таблица 7а/О.172 – Ширина полосы частот измерений функции измерения фазового дрожания для компонентных СЦИ сигналов

Скорость передачи [кбит/с]	Ширина полосы частот измерений фазового дрожания (на частотах по уровню –3 дБ)		
	f_1 [Гц] ФВЧ	f_3 [Гц] ФВЧ	f_4 [Гц] ФНЧ
1 544	10	8 к	40 к
2 048	20	18 к (0,7 к)	100 к
6 312	10	3 к	60 к
34 368	100	10 к	800 к
44 736	10	30 к	400 к
139 264	200	10 к	3,5 М

ПРИМЕЧАНИЕ. – Для f_3 на скорости 2048 кбит/с определено два значения. Значение, показанное в скобках, относится только к измерениям на конкретных интерфейсах для отдельных стран.

9.3.1 Частотная характеристика функции измерения фазового дрожания для линейных СЦИ сигналов

Частотная характеристика всех фильтров в полосе пропускания должна быть такой, чтобы удовлетворялись требования к точности функции измерения фазового дрожания (см. п. 9.4).

Для всех линейных скоростей СЦИ, к функции измерения фазового дрожания, когда используются измерительные фильтры на частотах f_1 , f_3 и f_4 , применимы следующие требования:

- Измерительные фильтры верхних частот с частотами среза f_1 и f_3 имеют характеристику первого порядка и крутизну 20 дБ/декаду.
- Номинальные частоты среза f_1 и f_3 для каждой скорости определены в таблице 7 и номинальные точки измерительных фильтров по уровню –3 дБ должны находиться на частотах $f_1 \pm 10\%$ и $f_3 \pm 10\%$, соответственно.
- Измерительный фильтр нижних частот с частотой среза f_4 имеет максимально плоскую характеристику Баттерворта и крутизну –60 дБ/декаду.
- Номинальная частота среза f_4 для каждой скорости определена в таблице 7 и номинальная точка измерительного фильтра по уровню –3 дБ должна находиться на частоте $f_4 \pm 10\%$.
- Максимальное ослабление измерительных фильтров должно составлять, как минимум, 60 дБ.

Эти функциональные требования к измерению фазового дрожания совместимы с Рек. МСЭ-Т G.825 [13].

9.3.2 Частотная характеристика функции измерения фазового дрожания для компонентных СЦИ сигналов

Частотная характеристика всех фильтров в полосе пропускания должна быть такой, чтобы удовлетворялись требования к точности функции измерения фазового дрожания (см. п. 9.4).

Для всех компонентных скоростей СЦИ, к функции измерения фазового дрожания, когда используются измерительные фильтры на частотах f_1 , f_3 и f_4 , применимы следующие требования:

- Измерительные фильтры верхних частот с частотами среза f_1 и f_3 имеют характеристику первого порядка и крутизну 20 дБ/декаду.
- Номинальные частоты среза f_1 и f_3 для каждой скорости определены в таблице 7а и номинальные точки измерительных фильтров по уровню –3 дБ должны находиться на частотах $f_1 \pm 10\%$ и $f_3 \pm 10\%$, соответственно.
- Измерительный фильтр нижних частот с частотой среза f_4 имеет максимально плоскую характеристику Баттерворта и крутизну –60 дБ/декаду для скоростей 2048, 34 368 и 139 264 кбит/с, и –20 дБ/декаду для скоростей 1544, 6312 и 44 736 кбит/с.

- d) Номинальная частота среза f_4 для каждой скорости определена в таблице 7а и номинальная точка измерительного фильтра по уровню -3 дБ должна находиться на частоте $f_4 \pm 10\%$.
- e) Максимальное ослабление измерительных фильтров должно составлять, как минимум, 60 дБ.
- f) Кроме того, когда функция ФВЧ находится на частоте f_1 , применяются следующие требования. Переменная ошибка измерительного фильтра на частоте ниже f_1 должна быть такой, как определено в таблице 10А для частоты f_1 . Второй полюс характеристики фильтра допускается на частоте менее 0,1 Гц, где крутизна характеристики может увеличиться до 40 дБ/декаду.

Эти функциональные требования к измерению фазового дрожания совместимы с Рек. МСЭ-Т G.783 [6], G.823 [11] и G.824 [12].

Дополнение IV показывает, как эти требования к фильтрам и спецификации, приведенные в последующих подразделах, могут быть объединены в общий результат применения функции измерения фазового дрожания.

9.4 Точность измерений

9.4.1 Точность результата измерений

Точность измерений функции измерения фазового дрожания зависит от нескольких факторов, таких как внутренняя ошибка, частотная характеристика и ошибка, зависящая от цифровой тестовой последовательности внутренних цепей синхронизации. Кроме того, существует также ошибка считывания показаний.

На точность измерений фазового дрожания не должен влиять сдвиг частоты входного сигнала, лежащий в пределах, определенных для различных скоростей передачи в Рек. МСЭ-Т G.703 [3], G.783 [6], G.813 [10] и G.798 [15].

Точность измерений определяется с использованием входного сигнала со структурой, определенной в Приложении А для линейных СЦИ сигналов или в п. 8.3.2 для псевдослучайных последовательностей для компонентных СЦИ сигналов и одной из двух физических характеристик:

- a) электрический сигнал, соответствующий Рек. МСЭ-Т G.703 [3], имеющий номинальный конечный уровень сигнала без дополнительных частотно-зависимых потерь; или
- b) оптический сигнал, соответствующий Рек. МСЭ-Т G.957 [14] или G.691 [1] и с номинальной мощностью в диапазоне от -10 дБм до -12 дБм. Работа с более высокими входными уровнями мощности может быть разрешена на скоростях STM-64 и STM-256 в соответствии со средними значениями выходной мощности, определенных в Рек. МСЭ-Т G.693 [2].

Общая ошибка измерений должна быть менее, чем:

$$\pm R\% \text{ от считанного значения } \pm W,$$

где R – переменная ошибка, определенная в таблице 10 или в таблице 10а, и W – фиксированная ошибка из таблицы 8 или таблицы 9, которая учитывает любой вклад от функции внешней синхронизации.

9.4.2 Фиксированная ошибка измерения фазового дрожания линейного СЦИ сигнала

Для скоростей STM-N и для указанных цифровых сигналов, фиксированная ошибка функции измерения фазового дрожания должна быть такой, как определено в таблице 8 в пределах указанных диапазонов частот f_1 – f_4 и f_3 – f_4 . Частоты f_1 , f_3 и f_4 , использованные в таблице 8, определены в таблице 7.

Таблица 8/О.172 – Фиксированная ошибка (W) измерения фазового дрожания линейного СЦИ сигнала

Сигнал	Максимальный размах ошибки фазового дрожания [U _{pp}] для данных цифровых сигналов					
	Структурированный сигнал			Тактовый сигнал		
	f_1-f_4	$f_{12}-f_4$	f_3-f_4	f_1-f_4	$f_{12}-f_4$	f_3-f_4
STM-0e	FFS	–	FFS	FFS	–	FFS
STM-0	0,07	–	0,035	0,05	–	0,03
STM-1e	0,07	–	0,025	0,05	–	0,02
STM-1	0,07	0,035	0,035	0,05	0,03	0,03
STM-4	0,1	0,035	0,035	0,05	0,03	0,03
STM-16	0,1	0,035	0,035	0,05	0,03	0,03
STM-64	0,1	–	0,035	0,05	–	0,03
STM-256	0,15	–	0,05	0,05	–	0,03

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – FFS означает, что значение требует дальнейшего изучения.
 ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Структурированные цифровые сигналы определены в Приложении А.
 ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Тактовые интерфейсы не обязательны.
 ПРИМЕЧАНИЕ 4. – На скорости STM-256 цель – уменьшить фиксированную ошибку W в пределах диапазонов частот f_1-f_4 и f_3-f_4 до величин 0,1 U_{pp} и 0,035 U_{pp}.
 ПРИМЕЧАНИЕ 5. – ФВЧ f_{12} не обязателен.
 ПРИМЕЧАНИЕ 6. – Уменьшенные пределы фиксированной ошибки для скоростей STM-16 и STM-64 применимы к новому измерительному оборудованию.

9.4.3 Фиксированная ошибка измерения фазового дрожания компонентного СЦИ сигнала

Для скоростей для указанных компонентных цифровых сигналов, фиксированная ошибка функции измерения фазового дрожания должна быть такой, как определено в таблице 9 в пределах указанных диапазонов частот f_1-f_4 и f_3-f_4 . Частоты f_1 , f_3 и f_4 , использованные в таблице 9, определены в таблице 7а.

Таблица 9/О.172 – Фиксированная ошибка (W) измерения фазового дрожания компонентного СЦИ сигнала

Скорость [кбит/с]	Максимальный размах ошибки фазового дрожания [U _{pp}] для данных цифровых сигналов			
	Псевдослучайный сигнал		Тактовый сигнал	
	f_1-f_4	f_3-f_4	f_1-f_4	f_3-f_4
1 544	0,04	0,025	0,015	0,01
2 048	0,04	0,025	0,015	0,01
6 312	0,04	0,025	0,015	0,01
34 368	0,04	0,025	0,03	0,02
44 736	0,04	0,025	0,03	0,02
139 264	0,04	0,025	0,03	0,02

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Псевдослучайные сигналы определены в п. 8.3.2.
 ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Тактовые интерфейсы не обязательны.

9.4.4 Переменная ошибка измерения фазового дрожания линейного СЦИ сигнала

Переменная ошибка R должна быть такой, как определено в таблице 10 для линейных СЦИ сигналов. Частоты f_1 , f_3 и f_4 , использованные в таблице 10, определены в таблице 7.

Таблица 10/О.172 – Переменная ошибка (R) измерения фазового дрожания линейного СЦИ сигнала

Сигнал	Ошибка, R	Диапазон частот
STM-0e, STM-0	FFS	f_1-f_4
STM-1e, STM-1	±7%	f_1-300 кГц
	±8%	300 кГц–1 МГц
	±10%	1 МГц– f_4
STM-4	±7%	f_1-300 кГц
	±8%	300 кГц–1 МГц
	±10%	1 МГц–3 МГц
	±15%	3 МГц– f_4
STM-16, STM-64, STM-256	±7%	f_1-300 кГц
	±8%	300 кГц–1 МГц
	±10%	1 МГц–3 МГц
	±15%	3 МГц–10 МГц
	±20%	10 МГц– f_4

9.4.5 Переменная ошибка измерения фазового дрожания компонентного СЦИ сигнала

На частотах фазового дрожания между f_1 и f_4 , переменная ошибка R должна быть такой, как определено в таблице 10а для компонентных СЦИ сигналов. Частоты f_1 и f_4 , использованные в таблице 10а, определены в таблице 7а.

Таблица 10а/О.172 – Переменная ошибка (R) измерения фазового дрожания компонентного СЦИ сигнала

Сигнал	Ошибка, R	Диапазон частот
544	±9%	f_1-1 кГц
	±7%	1 кГц– f_4
2 048	±7%	f_1-f_4
6 312	±9%	f_1-1 кГц
	±7%	1 кГц– f_4
34 368	±7%	f_1-300 кГц
	±8%	300 кГц– f_4
44 763	±9%	f_1-200 Гц
	±7%	200 Гц–300 кГц
	±8%	300 кГц– f_4
139 264	±7%	f_1-300 кГц
	±8%	300 кГц–1 МГц
	±10%	1 МГц–3 МГц
	±15%	3 МГц– f_4

9.4.6 Ошибка, зависящая от цифрового испытательного сигнала

Если для выполнения измерений фазового дрожания применяются цифровые испытательные сигналы, должны удовлетворяться требования к точности, указанные в предыдущих подразделах. При использовании других структурированных сигналов, псевдослучайных или случайных сигналов, можно ожидать еще большей ошибки измерений. Учитывая определенную выше ширину полосы частот измерений, сигналы, содержащие множество нулей или единиц (т. е. имеющие меньшее

количество переходов сигнала) могут даже нарушить теорему отсчетов – по теоретическим причинам – что сделает невозможным удовлетворение указанных требований по точности.

9.5 Точность измерений передачи фазового дрожания

Спецификация переходной характеристики передачи фазового дрожания оборудования СЦИ в Рек. МСЭ-Т G.783 [6] использует маску зависимости усиление-от-частоты для ограничения коэффициента передачи (P) и максимальной полосы передачи (f_C). Эта маска определена для частот внутри полосы f_L - f_H . Точность измерения передачи фазового дрожания зависит от нескольких факторов: надежность показателей генератора фазового дрожания, линейность и повторяемость параметров оборудования для измерения фазового дрожания, и уровень шума измерений. Когда частота фазового дрожания f_m менее f_C , то точность измерений влияет на определение того, соблюдается ли предел усиления P . Там, где частота фазового дрожания f_m больше, чем f_C , точность измерений влияет на определение того, не превышаемся ли маска, ограничивающая полосу частот, выше f_C .

Общая ошибка измерений в диапазоне частот фазового дрожания $f_L = 0,01 \cdot f_C$ и $f_H = 100 \cdot f_C$ или f_4 , если f_4 меньше, чем $100 \cdot f_C$, когда амплитуда фазового дрожания входного сигнала равна допустимым маскам допуска, фазовое дрожание должно быть менее:

$$\pm 0,05 \text{ дБ} \pm 0,12 \cdot g,$$

где g – измеренный коэффициент усиления передачи фазовое дрожание на частоте фазового дрожания f_m в дБ. Эта ошибка измерений применима для значений g больших или равных -45 дБ. Для значений g менее -45 дБ точность не определена.

9.6 Дополнительные функции

9.6.1 Аналоговый выходной сигнал

Функция измерения фазового дрожания может создавать аналоговый выходной сигнал, для того чтобы дать возможность выполнить измерения при помощи средств, отличных от функции измерения фазового дрожания, например, используя осциллограф или измеритель среднеквадратических значений.

10 Функция измерения дрейфа фазы

Дополнение II содержит дополнительную информацию относительно конфигураций испытаний для измерений дрейфа фазы.

10.1 Опорный синхросигнал

Для измерения дрейфа фазы должна существовать возможность синхронизировать измерительную функцию от внешнего источника тактовой частоты с определенной точностью; см. также 7.3.

10.2 Измерение ИВИ (искажение временного интервала)

Оборудование должно быть способно измерять искажения временного интервала (ИВИ), определенные в Рек. МСЭ-Т G.810 [7]. ИВИ – это базовая функция, на основании которой можно рассчитать многие различные параметры стабильности (такие как МИВИ и ОтВр).

ИВИ можно рассматривать как разницу во времени между измеряемым сигналом и сигналом тактовой частоты. Как правило, оно измеряется в наносекундах и устанавливается в ноль в начале периода измерения. Следовательно, ИВИ показывает изменение синхронизации с момента начала измерений.

10.2.1 Интервал дискретизации

Для того чтобы рассчитать и оценить различные параметры дрейфа фазы, определенные в последующих подразделах, ИВИ обрабатывается как дискретизированный параметр, поскольку на практике невозможно непрерывно получать данные об искажении временного интервала (см. Рек. МСЭ-Т G.810 [7]).

Максимальный интервал дискретизации τ_0 , для ИВИ должен быть:

$$1/30 \text{ с}$$

в соответствии с Рек. МСЭ-Т G.813 [10] и G.812 [9].

10.2.2 Полоса частот измерений

Дрейф фазы должен измеряться при помощи эквивалентного измерительного фильтра низких частот с полосой 10 Гц, с характеристикой первого порядка, соответствующего Рек. МСЭ-Т G.813 [10] и G.812 [9], и имеющего следующие характеристики:

- Измерительный фильтр низких частот имеет характеристику первого порядка и крутизну -20 дБ/декаду. Точка измерительного фильтра по уровню -3 дБ должна располагаться на частоте $10 \text{ Гц} \pm 10\%$.
- Неравномерность амплитуды в полосе пропускания фильтра от 1 до 10 Гц должна быть менее чем $\pm 0,2$ дБ (относительно коэффициента пропускания на частоте 0,1 Гц) и максимальное затухание, вносимое измерительным фильтром, должно составлять, как минимум, 30 дБ.

10.2.3 Диапазон измерений

Динамический диапазон измерений ИВИ должен быть, как минимум:

$$\pm 1 \times 10^9 \text{ нс}$$

(соответствуя, например, сдвигу частоты $\pm 4,6$ ppm за 200 000 секунд или за 55 часов).

10.2.4 Точность результатов измерения

Точность измерений, обеспечиваемая функцией измерения дрейфа фазы, зависит от нескольких факторов, таких как амплитуда считывания, фиксированная внутренняя ошибка, частотная характеристика и интервал дискретизации ИВИ.

Для каждого измерения ИВИ в течение интервала наблюдений τ , суммарная ошибка измерений должна ИВИ быть менее, чем:

$$\pm 5\% \text{ от измеренного значения ИВИ } \pm Z_0(\tau),$$

где значение $Z_0(\tau)$ основано на требованиях к измерению, изложенных в Рек. МСЭ-Т G.811 [8] и перечисленных в таблице 11.

Таблица 11/О.172 – Фиксированная ошибка (Z_0) измерения ИВИ

$Z_0(\tau)$ [нс]	Интервал наблюдений, τ [с]
$2,5 + 0,0275 \tau$	$0,05 \leq \tau \leq 1\ 000$
$29 + 0,001 \tau$	$\tau > 1\ 000$

ПРИМЕЧАНИЕ. – Существует также дополнительная зависящая от частоты ошибка на частотах выше 1 Гц, обусловленная частотной характеристикой измерительного фильтра (см. п. 10.2.2).

10.3 Измерение динамического ИВИ (искажение временного интервала)

Оборудование может быть способно измерять переходные искажения временного интервала (ИВИ). Переходное ИВИ определяется как ИВИ, измеренное при помощи эквивалентного измерительного фильтра низких частот с полосой 100 Гц, с характеристикой первого порядка, соответствующего Рек. МСЭ-Т G.783 [6] и G.813 [10].

Значение переходного ИВИ может использоваться для измерения регулировок указателя, описанных в Рек. МСЭ-Т G.783 [6], или переходов фазы тактового сигнала, определенных в Рек. МСЭ-Т G.812 [9] и G.813 [10].

10.3.1 Интервал дискретизации

Максимальный интервал дискретизации τ_0 переходного ИВИ должен быть равен:

$$1/1000 \text{ с}$$

в соответствии с Рек. МСЭ-Т G.783 [6] и G.812 [9].

10.3.2 Полоса частот измерений

Переходное ИВИ должно измеряться при помощи эквивалентного измерительного фильтра низких частот с полосой 100 Гц, с характеристикой первого порядка.

- а) Измерительный фильтр низких частот имеет характеристику первого порядка и крутизну -20 дБ/декаду. Точка измерительного фильтра по уровню -3 дБ должна располагаться на частоте $100 \text{ Гц} \pm 10\%$.
- б) Неравномерность амплитуды в полосе пропускания фильтра от 10 до 100 Гц должна быть менее чем $\pm 0,2$ дБ (относительно коэффициента пропускания на частоте 1 Гц) и максимальное затухание, вносимое измерительным фильтром, должно составлять, как минимум, 30 дБ.

10.3.3 Диапазон измерений

Динамический диапазон измерений переходного ИВИ должен быть, как минимум:

$$\pm 1 \times 10^6 \text{ нс.}$$

10.3.4 Точность результатов измерения

Точность измерений, обеспечиваемая функцией измерения переходного ИВИ зависит от нескольких факторов, таких как амплитуда считывания, фиксированная внутренняя ошибка, частотная характеристика и интервал дискретизации.

Для каждого измерения динамического ИВИ в течение интервала наблюдений τ , суммарная ошибка измерений должна быть менее, чем:

$$\pm 5\% \text{ от измеренного значения переходного ИВИ } \pm Z_9(\tau),$$

где значение $Z_9(\tau)$ основано на требованиях к измерению, изложенных в Рек. МСЭ-Т G.811 [8], и перечисленных в таблице 12.

Таблица 12/О.172 – Фиксированная ошибка (Z_9) измерения переходного ИВИ

$Z_9(\tau)$ [нс]	Интервал наблюдений, τ [с]
$2,5 + 0,0275 \tau$	$0,001 \leq \tau \leq 100$
ПРИМЕЧАНИЕ. – Существует также дополнительная зависящая от частоты ошибка на частотах выше 10 Гц, обусловленная частотной характеристикой измерительного фильтра (см. 10.3.2).	

10.4 Измерение МИВИ (максимальное искажение временного интервала)

Может быть обеспечена возможность измерения максимального искажения временного интервала (МИВИ), как определено в Рек. МСЭ-Т G.810 [7].

МИВИ – это мера дрейфа фазы, которая характеризует сдвиги частоты и переходы фазы. Оно является функцией параметра τ , называемого интервалом наблюдений. Можно сказать, что МИВИ(τ) – максимальный размах ИВИ в любом интервале наблюдений длительностью τ .

10.4.1 Измерение и диапазоны интервала наблюдений

Для того чтобы соответствовать спецификациям МИВИ, приведенным в различных рекомендациях МСЭ-Т, должна быть предусмотрена возможность измерения МИВИ в широком диапазоне интервалов наблюдений, как минимум:

- от 0,05 с до 100 000 с для ИВИ, как описано в п. 10.2;
- от 0,001 с до 100 с для переходного ИВИ, как описано в п. 10.3.

Максимальный диапазон рассчитанных результатов МИВИ должен составлять, как минимум:

$$50\ 000\ \text{нс}$$

(соответствуя, например, десятикратному значению максимальной спецификации, определенной в Рек. МСЭ-Т G.813 [10]).

ПРИМЕЧАНИЕ. – Минимальный период измерения T для МИВИ(τ) равен интервалу наблюдений (т. е. $T = \tau$).

10.4.2 Точность расчетного алгоритма

В некоторых случаях, алгоритм расчета МИВИ может быть функционально отделен от измерений ИВИ, в таком случае к точности отдельного алгоритма предъявляются следующие требования.

Используя определенный набор данных измерений ИВИ, алгоритм, применяемый для расчетов МИВИ, должен давать на выходе результаты с ошибкой расчетных значений, лежащей в определенных пределах в соответствии со стандартной формулой оценки, приведенной в II.5/G.810 [7].

Суммарная ошибка расчета МИВИ должна быть менее, чем:

$$\pm 2\% \text{ от значения МИВИ } \pm Z_1(\tau),$$

где величина $Z_1(\tau)$ определена в таблице 13, а τ – интервал наблюдений.

Таблица 13/О.172 – Фиксированная ошибка (Z_1) алгоритма расчета МИВИ

$Z_1(\tau)$ [нс]	Интервал наблюдений, τ [с]
$0,5 + 0,0055 \tau$	$0,001 \leq \tau \leq 1\ 000$
$5,8 + 0,0002 \tau$	$\tau > 1\ 000$
ПРИМЕЧАНИЕ. – Эти требования основаны на Рек. МСЭ-Т G.811 [8].	

Для того чтобы проверить точность отдельного алгоритма расчета МИВИ, может применяться определенный источник шума ИВИ, который описан в Дополнении V.

10.4.3 Точность результатов измерения

Суммарная ошибка измерений (т. е. учитывающая ошибки измерения ИВИ и ошибки алгоритма расчета МИВИ) должна быть менее, чем:

$$\pm 7\% \text{ от значения МИВИ } \pm Z_3(\tau),$$

где значение $Z_3(\tau)$ определено в таблице 14, а τ – интервал наблюдений.

Таблица 14/О.172 – Фиксированная ошибка (Z_3) результатов измерения МИВИ

$Z_3(\tau)$ [нс]	Интервал наблюдений, τ [с]
$3 + 0,033 \tau$	$0,001 \leq \tau \leq 1\ 000$
$35 + 0,0012 \tau$	$\tau > 1\ 000$
ПРИМЕЧАНИЕ. – Эти требования основаны на Рек. МСЭ-Т G.811 [8].	

10.5 Измерение ОтВр (отклонение времени)

Может быть обеспечена возможность измерения отклонения времени (ОтВр), определенная в Рек. МСЭ-Т G.810 [7].

ОтВр – это мера дрейфа фазы, которая характеризует ее спектральный состав. Оно является функцией параметра τ , называемого интервалом наблюдений. Можно сказать, что ОтВр(τ) является среднеквадратическим значением фильтрованного ИВИ, причем используемый полосовой фильтр имеет центральную частоту $0,42/\tau$.

10.5.1 Измерение и диапазоны интервала наблюдений

Для того чтобы соответствовать спецификациям ОтВр, приведенным в различных рекомендациях МСЭ-Т, должна быть предусмотрена возможность измерения в широком диапазоне интервалов наблюдений, как минимум,

от 0,05 с до 10 000 с.

Максимальный диапазон рассчитанных результатов ОтВр должен составлять, как минимум:

10 000 нс

(соответствуя, например, десятикратному значению максимальной спецификации, определенной в Рек. МСЭ-Т G.813 [10]).

ПРИМЕЧАНИЕ. – Минимальный период измерения T для ОтВр(τ) в двенадцать раз превышает интервал наблюдений (т. е. $T = 12\tau$), в соответствии с Рек. МСЭ-Т G.813 [10], G.812 [9] и G.811 [8].

10.5.2 Точность расчетного алгоритма

В некоторых случаях, алгоритм расчета ОтВр может быть функционально отделен от измерений ИВИ, в таком случае к точности отдельного алгоритма предъявляются следующие требования.

Используя определенный набор данных измерений ИВИ, алгоритм, применяемый для расчетов ОтВр, должен давать на выходе результаты с ошибкой расчетных значений, лежащей в определенных пределах в соответствии со стандартной формулой оценки, приведенной в П.3/G.810 [7].

Суммарная ошибка расчета ОтВр должна быть менее, чем:

$\pm 2\%$ от значения ОтВр $\pm Z_2(\tau)$,

где величина $Z_2(\tau)$ определена в таблице 15, а τ – интервал наблюдений.

Таблица 15/О.172 – Фиксированная ошибка (Z_2) алгоритма расчета ОтВр

$Z_2(\tau)$ [нс]	Интервал наблюдений, τ [с]
0,06	$0,05 \leq \tau \leq 100$
$0,0006 \tau$	$100 < \tau \leq 1\,000$
0,6	$1\,000 < \tau \leq 10\,000$

ПРИМЕЧАНИЕ. – Эти требования основаны на Рек. МСЭ-Т G.811 [8].

Для того чтобы проверить точность отдельного алгоритма расчета ОтВр, может применяться определенный источник шума ИВИ, который описан в Дополнении V.

10.5.3 Точность результатов измерения

Суммарная ошибка измерений (т. е. учитывающая ошибки измерения ИВИ и ошибки алгоритма расчета ОтВр) должна быть менее, чем:

$\pm 7\%$ от значения ОтВр $\pm Z_4(\tau)$,

где значение $Z_4(\tau)$ определено в таблице 16, а τ – интервал наблюдений.

Таблица 16/О.172 – Фиксированная ошибка (Z_4) результатов измерения ОтВр

$Z_4(\tau)$ [нс]	Интервал наблюдений, τ [с]
0,36	$0,05 \leq \tau \leq 100$
$0,0036 \tau$	$100 < \tau \leq 1\ 000$
3,6	$1\ 000 < \tau \leq 10\ 000$
ПРИМЕЧАНИЕ. – Эти требования основаны на Рек. МСЭ-Т G.811 [8].	

10.6 Измерение сдвига частоты

Может быть обеспечена возможность измерения сдвига частоты, определенного далее.

Сдвиг частоты – это первая производная фазы. Передаточная функция производного процесса растет пропорционально частоте, с которой изменяется сдвиг частоты. Следовательно, полоса частот измерений должна быть ограничена. Полоса частот измерений регулируется периодом времени, для которого вычисляется сдвиг частоты из набора значений ИВИ x_i .

Частичный сдвиг частоты (в нс/с), измеренный за период T , определяется как:

$$y(n\tau_0) = \frac{6}{N\tau_0} \sum_{i=1}^N x_{n+i} \left[\frac{2i}{N^2 - 1} - \frac{1}{N - 1} \right],$$

где:

τ_0 интервал дискретизации в секундах,

N число отсчетов фазы за период измерения,

$T = N\tau_0$ – период измерения в секундах,

$t = n\tau_0$ – время начала периода измерения,

x_i отсчеты фазы в нс.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Это измерение уменьшает компоненты сдвига частоты, которые меняются с частотой более $0,55/T$. Пользователь должен выбрать значение $T = N\tau_0$ для уменьшения шума и интересующие его частоты пропускания.

10.6.1 Диапазон измерений

Для того чтобы соответствовать спецификациям различных рекомендаций МСЭ-Т относительно измерений сдвига частоты, должна быть предусмотрена возможность измерения сдвига частоты в широком диапазоне интервалов наблюдений, как минимум:

$$0,05 \text{ с} \leq T \leq 10\ 000 \text{ с.}$$

Максимальный диапазон рассчитанных результатов сдвига частоты должен составлять, как минимум:

$$75\ 000 \text{ нс/с}$$

(соответствуя, например, десятикратному значению максимальной спецификации, определенной в Рек. МСЭ-Т G.813 [10]).

10.6.2 Точность расчетного алгоритма

В некоторых случаях, алгоритм расчета сдвига частоты может быть функционально отделен от измерений ИВИ, в таком случае к точности отдельного алгоритма предъявляются следующие требования.

Используя определенный набор данных измерений ИВИ, алгоритм, применяемый для расчетов сдвига частоты, должен давать на выходе результаты с ошибкой расчетных значений, лежащей в определенных пределах в соответствии со стандартной формулой оценки, приведенной в п. 10.6.

Суммарная ошибка расчета сдвига частоты должна быть менее, чем:

$$\pm 2\% \text{ от значения сдвига частоты } \pm Z_5(T),$$

где величина $Z_5(\tau)$ определена таблице 17, а T – период измерений.

Таблица 17/О.172 – Фиксированная ошибка (Z_5) алгоритма расчета сдвига частоты

$Z_5(T)$ [нс/с]	Период измерений, T [с]
0,0055	$0,05 \leq T \leq 1\ 000$
0,0002	$T > 1\ 000$
ПРИМЕЧАНИЕ. – Эти требования основаны на Рек. МСЭ-Т G.811 [8].	

10.6.3 Точность результатов измерения

Суммарная ошибка измерений (т. е. учитывающая ошибки измерения ИВИ и ошибки алгоритма расчета сдвига частоты) должна быть менее, чем:

$$\pm 7\% \text{ от значения сдвига частоты } \pm Z_6(T),$$

где значение $Z_6(\tau)$ определено в таблице 18, а T – период измерений.

Таблица 18/О.172 – Фиксированная ошибка (Z_6) результатов измерения сдвига частоты

$Z_6(T)$ [нс/с]	Период измерений, T [с]
0,033	$0,05 \leq T \leq 1\ 000$
0,0012	$T > 1\ 000$
ПРИМЕЧАНИЕ. – Эти требования основаны на Рек. МСЭ-Т G.811 [8].	

10.7 Измерение скорости ухода частоты

Может быть обеспечена возможность измерения скорости ухода частоты, определенная далее.

Скорость ухода частоты – это вторая производная фазы. Передаточная функция производного процесса второго порядка растет пропорционально квадрату частоты, с которой изменяется скорость ухода частоты. Следовательно, полоса частот измерений должна быть ограничена. Полоса частот измерений регулируется периодом времени, для которого вычисляется скорость ухода частоты из набора значений ИВИ x_i .

Скорость ухода частоты (в нс/с²) измеренная за период T , определяется как:

$$D(n\tau_0) = \frac{60}{N\tau_0^2} \sum_{i=1}^N x_{n+i} \left[\frac{6i^2}{N^4 - 5N^2 + 4} - \frac{6i}{N^3 - N^2 - 4N + 4} + \frac{1}{N^2 - 3N + 2} \right],$$

где:

τ_0 интервал дискретизации в секундах,

N число отсчетов фазы за период измерения,

$T = N\tau_0$ – период измерений в секундах,

$t = n\tau_0$ – время начала периода измерения,

x_i отсчеты фазы в нс.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Это измерение уменьшает компоненты скорости ухода частоты, которые меняются с частотой более $0,8/T$. Пользователь должен выбрать значение $T = N\tau_0$ для уменьшения шума и интересующие его частоты пропускания.

10.7.1 Диапазон измерений

Для того чтобы соответствовать спецификациям различных рекомендаций МСЭ-Т относительно измерений скорости ухода частоты, должна быть предусмотрена возможность измерения скорости ухода частоты в широком диапазоне интервалов наблюдений, как минимум:

$$0,05 \text{ с} \leq T \leq 10\,000 \text{ с}.$$

Максимальный диапазон рассчитанных результатов скорости ухода частоты должен составлять, как минимум:

$$0,06 \text{ нс/с}^2$$

(соответствуя, например, десятикратному значению максимальной спецификации, определенной в Рек. МСЭ-Т G.813 [10]).

10.7.2 Точность расчетного алгоритма

В некоторых случаях, алгоритм расчета скорости ухода частоты может быть функционально отделен от измерения ИВИ, в таком случае к точности отдельного алгоритма предъявляются следующие требования.

Используя определенный набор данных измерений ИВИ, алгоритм, применяемый для расчета скорости ухода частоты, должен давать на выходе результаты с ошибкой расчетных значений, лежащей в определенных пределах в соответствии со стандартной формулой оценки, приведенной в п. 10.7.

Суммарная ошибка расчета скорости ухода частоты должна быть менее, чем:

$$\pm 2\% \text{ от значения скорости ухода частоты } \pm Z_7(T),$$

где $Z_7(\tau)$ определена в таблице 19, а T – период измерений.

Таблица 19/О.172 – Фиксированная ошибка (Z_7) алгоритма расчета скорости ухода частоты

$Z_7(T)$ [нс/с ²]	Период измерений, T [с]
$0,5 \cdot T^{-2}$	$0,05 < T < 2\,500$
$8 \cdot 10^{-8}$	$T > 2\,500$
ПРИМЕЧАНИЕ. – Эти требования основаны на Рек. МСЭ-Т G.812 [9].	

10.7.3 Точность результатов измерения

Суммарная ошибка измерений (т. е. учитывающая ошибки измерения ИВИ и ошибки алгоритма расчета скорости ухода частоты) должна быть менее, чем:

$$\pm 7\% \text{ от значения скорости ухода частоты } \pm Z_8(T),$$

где значение $Z_8(\tau)$ определено в таблице 20, а T – период измерений.

Таблица 20/О.172 – Фиксированная ошибка (Z_8) результатов измерения скорости ухода частоты

$Z_8(T)$ (нс/с ²)	Период измерений, T [с]
T^{-2}	$0,05 < T < 2\,500$
$1,6 \cdot 10^{-7}$	$T > 2\,500$
ПРИМЕЧАНИЕ. – Эти требования основаны на Рек. МСЭ-Т G.812 [9].	

11 Функция генерирования шума из-за дрейфа отклонения времени

Может быть предусмотрена способность генерирования шума дрейфа фазы ОтВр для измерения допусков по дрейфу фазы и передачи дрейфа фазы, как описано в Рек. МСЭ-Т G.812 [9] и G.813 [10]. Для обеспечения достаточно точных, устойчивых и повторяющихся результатов измерений, должны выполняться следующие требования:

- a) Генератор шума дрейфа фазы ОтВр должен создавать тестовый сигнал в пределах $\pm 20\%$ от применяемой маски допусков на входной шум ОтВр. Такая точность должны выдерживаться, когда период измерений $T \geq 12\tau_{\max}$, где τ_{\max} – наибольшее значение τ для маски.
- b) МИВИ испытательного сигнала не должен превышать верхний предел, определенный в Приложении С.
- c) Испытательный сигнал должен быть детерминированным и повторяемым, что предполагает возможность начала сигнала в одной и той же точке временной функции сигнала.

В разделе П.2/G.812 [9] показан пример правильной реализации алгоритма генерирования сигнала шума дрейфа фазы ОтВр.

В разделе П.1/G.812 [9] приведена дополнительная информация по применению сигнала шума дрейфа фазы ОтВр.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Этот сигнал может выходить за пределы соответствующей маски допусков МИВИ. Поскольку оба требования к ОтВр и МИВИ должны выполняться на входном интерфейсе, пределы ОтВр могут быть более строгими и, следовательно, могут допускаться значения, превышающие величины МИВИ.

12 Функция генерирования шума из-за дрейфа МИВИ

Может быть предусмотрена способность генерирования шума дрейфа фазы МИВИ для измерения допусков по дрейфу фазы, как описано в Рек. МСЭ-Т G.812 [9] и G.813 [10]. Для обеспечения достаточно точных, устойчивых и повторяющихся результатов измерений, должны выполняться следующие требования:

- a) Генератор шума МИВИ должен создавать тестовый сигнал или набор тестовых сигналов, расположенных в пределах $\pm 5\%$ от применяемой маски допусков на входной шум МИВИ. Для набора испытательные сигналы, пределами расположения считаются верхняя огибающая набора соответствующих кривых МИВИ.
- b) Фазовое дрожание, создаваемое генератором шума МИВИ, не должно превышать пределов фазового дрожания на выходе применяемого сетевого интерфейса.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Когда набор тестовых сигналов оценивается на соответствие данным требованиям, созданный дрейф фазы должен измеряться при помощи фильтра низких частот с полосой, соответствующей такому положению дел, когда измеренное значение МИВИ менее 1%. Руководство по оценке генерирования дрейфа МИВИ содержится в Дополнении VI.

13 Эксплуатационная обстановка

Требования к качественным показателям должны выполняться при работе в климатических условиях, определенных в п. 2.1/О.3 [16].

Приложение А

Структурированные испытательные сигналы для измерения фазового дрожания

А.1 Введение

Чрезвычайно важно определить испытательные сигналы, которые должны использоваться при выполнении измерений фазового дрожания. Это особенно важно при измерении оптических систем СЦИ, поскольку системы скремблирования не ограничивают длину последовательностей нулей или единиц, которые могут существовать в линейном сигнале, т. е. максимальный период времени без передачи каких-либо данных в скремблированном сигнале. В Рек.МСЭ-Т G.707/Y.1322 [4] приведена более подробная информация о структуре сигнала СЦИ и скремблировании передаваемых данных.

Например, если в сигнале трафика STM-N формируется скремблированная последовательность, то в кодированном линейном сигнале появляется множество байтов, состоящих целиком из нулей или единиц. В крайнем случае, они могут появляться редко, но и эта ситуация является сложной для того, чтобы устройство измерения фазового дрожания продолжало выполнять точные измерения, поэтому для формирования спецификации на измерения важно, определить представительный сигнал наихудшего случая.

А.1.1 Условия измерения нагрузки

Составные данные представляют собой наихудший сценарий для испытательных сигналов STM-N. Для перегруженных составных сигналов с заполняющей контейнер псевдослучайной двоичной последовательностью длиной $2^{23} - 1$, результатом скремблирования данных, в наихудшем случае, может стать 30 повторений одинаковых цепочек нулей или единиц (т. е. в линейном сигнале появится 30 периодов тактовой частоты без переходов). Для не составных сигналов, генерируемых испытательными комплексами СЦИ, перемежение байтов в контейнере VC-4 уменьшает максимальное число повторений.

А.1.2 Условия для дополнительных байтов СЦИ

Необходимо проявлять осторожность в выборе бинарного содержания байтов J0 и Z0 и байтов, зарезервированных для использования в конкретной стране. Которые исключены из процесса скремблирования STM-N сигнала, с тем чтобы не допустить возникновения длинных цепочек "1" или "0".

Содержание этих дополнительных байтов должно соответствовать последовательностям "10101010" (AA_H) или "11001100" (CC_H).

А.2 Структура испытательного сигнала для STM-N сигналов

А.2.1 STM-1 сигнал

Структура испытательного сигнала STM-1, показанная на рисунке А.1, состоит из тестовой псевдослучайной двоичной последовательности (PRBS) длиной $2^{23} - 1$ битов в соответствии с Рек. МСЭ-Т O.150 [17], которая применяется ко всем байтам контейнера C-4.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Эта структура эквивалентна структуре тестового сигнала 1 (TSS1), определенной в Приложении C/O.181 [19].

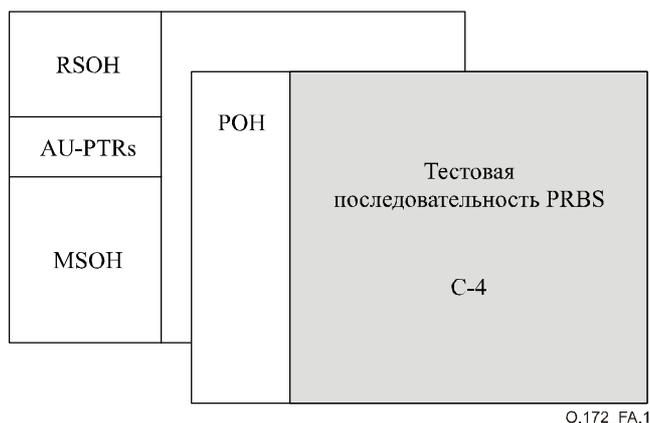


Рисунок А.1/О.172 – Структура испытательного сигнала для измерения фазового дрожания интерфейса STM-1

А.2.2 STM-N сигнал ($N \geq 4$)

Должен использоваться испытательный сигнал TSS1, описанный в п. А.2.1.

($N-1$) контейнеров нагрузки C-4, содержащих испытательного сигнала, должны содержать фиксированную последовательность битов, состоящую либо из всех "0", либо из всех "1", или могут содержать пустой VC-4, определенный в Рек. МСЭ-Т G.783 [6].

А.2.3 STM-0 сигнал

Структура испытательного сигнала STM-0, показанная на рисунке А.2, состоит из тестовой псевдослучайной двоичной последовательности (PRBS) длиной $2^{23} - 1$ битов в соответствии с Рек. МСЭ-Т О.150 [17], которая применяется ко всем байтам контейнера C-3.

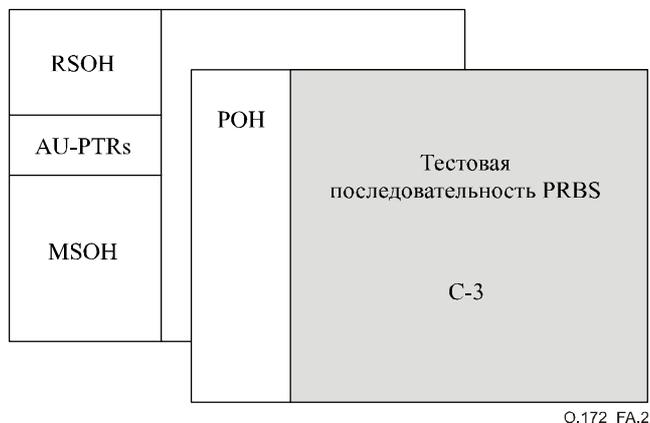


Рисунок А.2/О.172 – Структура испытательного сигнала для измерения фазового дрожания интерфейса STM-0

А.3 Структура испытательного сигнала для составных сигналов STM-N

А.3.1 STM-N сигнал ($N \geq 4$)

Структура испытательного сигнала STM-N, показанная на рисунке А.3, – это тестовая последовательность (PRBS) длиной $2^{23} - 1$ или $2^{31} - 1$ битов для STM-N ($N \geq 64$) в соответствии с Рек. МСЭ-Т О.150 [17], которая применяется ко всем байтам составного контейнера C-4-Хс.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Эта структура эквивалентна структуре тестового сигнала 9 (TSS9), определенной в Приложении С/О.181 [19].

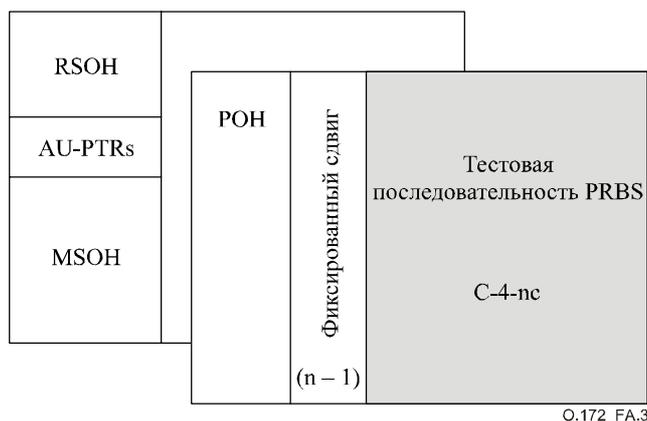


Рисунок А.3/О.172 – Структура испытательного сигнала для измерения фазовое дрожание составного интерфейса STM-N

Приложение В

Определение ошибки размаха крутизны фазовой характеристики из-за ограниченности полосы

Когда для фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) используется синусоидальная фазовая модуляция, степень регулировки пропорциональна размаху фазовой характеристики, если частота модуляции больше полосы частот ФАПЧ, и пропорциональна размаху крутизны фазовой характеристики, если частота модуляции меньше полосы частот. Искажения при генерации синусоидальной модуляции могут привести к дополнительной ошибке крутизны фазовой характеристики. В п. 8.6.2 определены пределы ошибки крутизны фазовой характеристики.

Процедура измерения крутизны фазовой характеристики функционально эквивалентна то, что показана на рисунке В.1. Дифференцирующая схема определяет крутизну фазовой характеристики, а фильтр низких частот – это фильтр первого порядка с частотой среза $f_{3\text{дБ}}$, где $f_{3\text{дБ}} = 2 \cdot f_3 \pm 10\%$, и f_3 определена в таблице 3 для линейных СЦИ сигналов, и в таблице 3а для компонентных СЦИ сигналов.

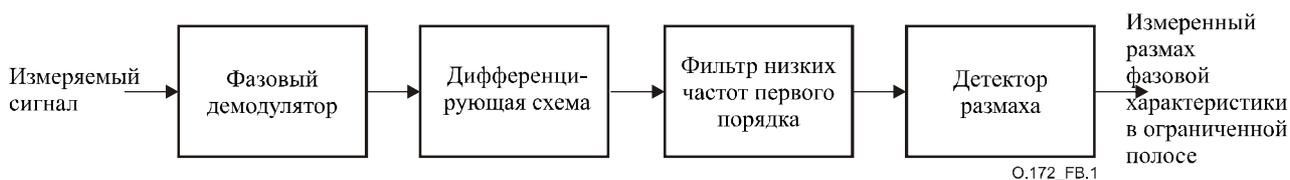


Рисунок В.1/О.172 – Функция измерения крутизны фазовой характеристики

Если генерируемый сигнал фазового дрожания/дрейфа фазы был бы идеальным синусоидальным сигналом с размахом (в единицах U_{pp}) в точности равным "установке", а частота модуляции была бы равна f_m , то размах крутизны фазовой характеристики, измеренный при помощи фильтра низких частот первого порядка, составил бы:

$$\text{идеальный размах крутизны фазовой характеристики в ограниченной полосе} = \frac{(\text{установка}) \cdot 2\pi f_m}{\sqrt{1 + (f_m / f_{3\text{дБ}})^2}}$$

Поскольку, как правило, реальная амплитуда фазы не равна установке амплитуды фазы, то реальная частота модуляции не равна f_m , и модулирующий сигнал не является идеальным синусоидальным сигналом, то измеренный размах крутизны фазовой характеристики в ограниченной полосе не равен приведенному выше значению идеального размаха крутизны фазовой характеристики в ограниченной полосе. Разница между измеренным значением размаха крутизны фазовой характеристики в ограниченной полосе и идеальным значением размаха крутизны фазовой характеристики в ограниченной полосе называется ошибкой размаха крутизны фазовой характеристики в ограниченной полосе.

Приложение С

Верхний предел значения МИВИ для шума из-за дрейфа значения ОтВр

В данном Приложении описывается верхний предел значения МИВИ для шума из-за дрейфа значения ОтВр, требуемый для измерения допуска по дрейфу фазы и для измерения передачи дрейфа фазы, как определено в Рек. МСЭ-Т G.812 и G.813. МИВИ для шума из-за дрейфа фазы ОтВр должно быть ниже верхнего предела МИВИ, для того чтобы предотвратить применение к испытуемому устройству чрезмерно высоких требований по МИВИ.

МИВИ(τ) для испытательного сигнала на выходе генератора шума ОтВр должно удовлетворять следующим соотношениям:

$$MTIE(\tau) \leq 7 \sqrt{4K_1 \int_{K_2/\tau_{\max}}^{K_2/\tau_{\min}} \left(TDEV\left(\frac{K_2}{f}\right) \right)^2 \frac{\sin(\pi\tau f)}{f} df},$$

где $K_1 = 0,84$ и $K_2 = 0,42$, $\tau_{\min} \leq \tau \leq \tau_{\max}$ и $T \geq 12\tau_{\max}$, где τ – интервал наблюдений, а T – период измерений. τ_{\min} и τ_{\max} – наименьший и наибольший интервалы наблюдений, определенные соответствующей маской ОтВр. В правой части уравнения функция ОтВр(τ) соответствующей маски ОтВр заменяется на ОтВр(K_2/f).

На рисунках С.1 и С.2 показаны примеры масок ОтВр и соответствующие верхние пределы МИВИ для шума дрейфа фазы из-за ОтВр. Для справки, на каждом рисунке пунктирной линией показана маска допусков по МИВИ, определенная для того же оборудования.

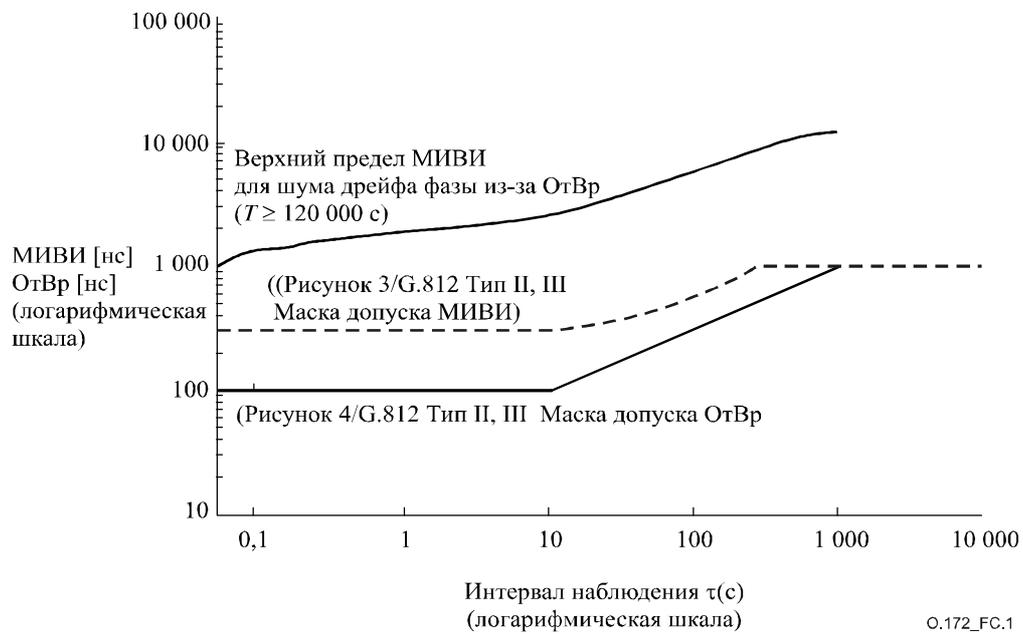
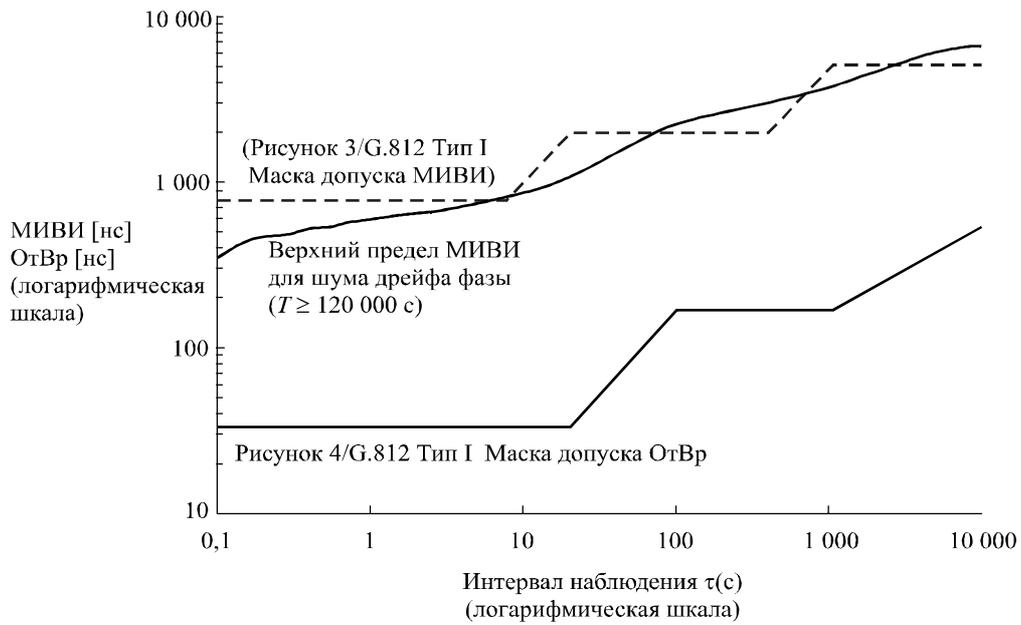


Рисунок С.1/О.172 – Верхний предел МИВИ для измерения допуска на дрейф фазы из-за ОтВр (см. G.812)

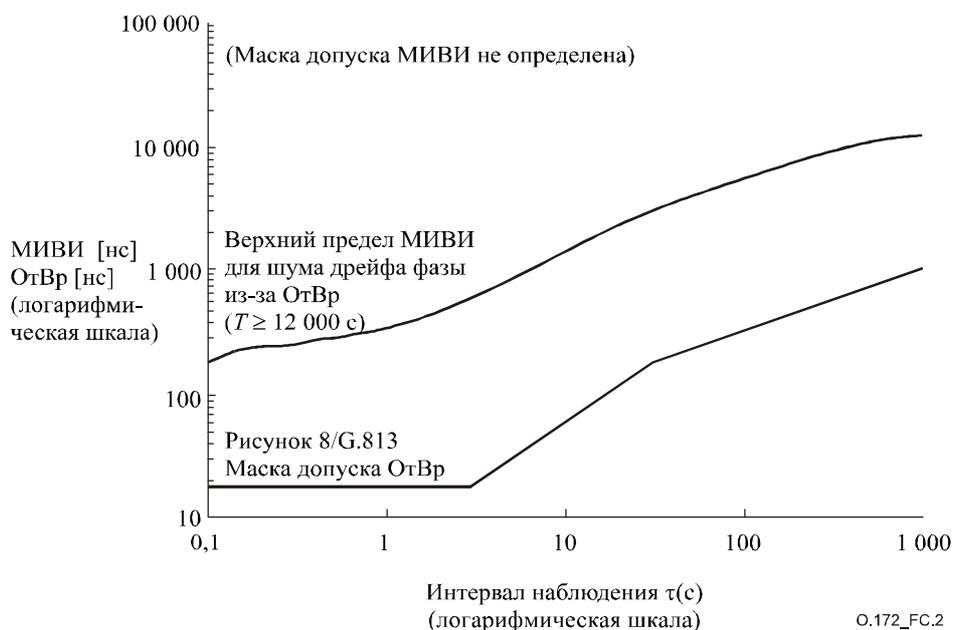
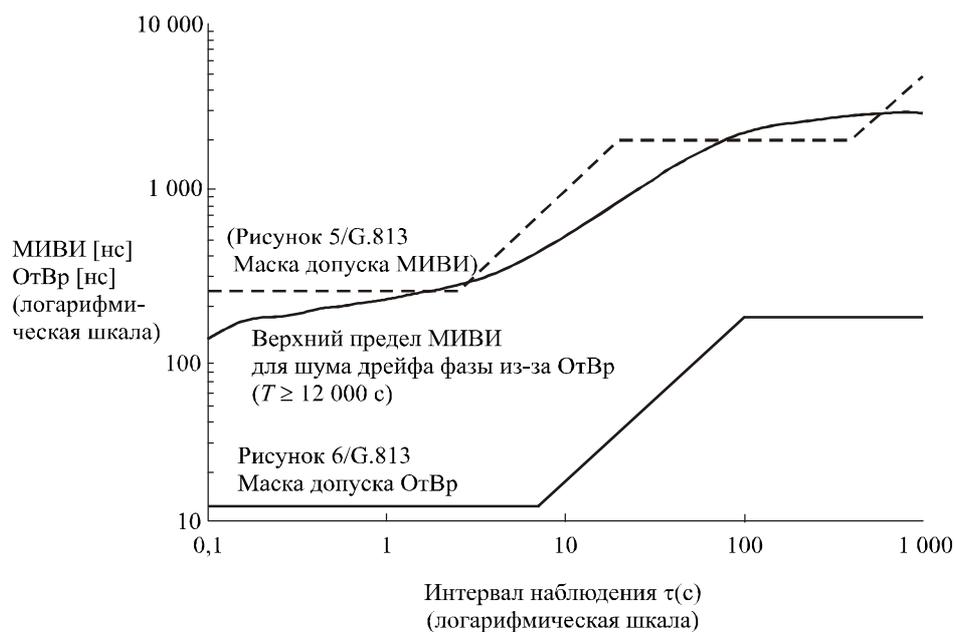


Рисунок С.2/О.172 – Верхний предел МИВИ для измерения допуска на дрейф фазы из-за ОтВр (см. G.813)

Дополнение I

Руководящие указания по измерению фазового дрожания в системах СЦИ

В Дополнении I/O.171 [18], "Рекомендации по измерению фазового дрожания", хотя оно и было разработано для систем ПЦИ, можно также найти рекомендации по общим принципам измерения фазового дрожания в системах СЦИ.

Дополнение II

Руководящие указания по измерению дрейфа фазы в системах СЦИ

II.1 Измерение дрейфа фазы

II.1.1 Общие положения относительно конфигурации измерений дрейфа фазы

Из-за низкой частоты измеряемого изменения фазы (см. определение в разделе 3), дрейф фазы требует специальной конфигурации измерений. Во время выполнения измерений фазового дрожания, необходимый опорный синхросигнал, как правило, создается локально – внутри испытательного комплекса при помощи цепочки фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ); он формируется из усредненной фазы измеряемого сигнала. Такая ФАПЧ не может быть реализована так, чтобы она удовлетворяла требованиям к измерению дрейфа фазы.

Следовательно, для измерения дрейфа фазы всегда требуется внешний источник тактовой частоты достаточной стабильности.

В разделах II.1.2 и II.1.3 содержится информация о конфигурациях измерений дрейфа фазы, которые соответствуют Рек. МСЭ-T G.810 [7].

II.1.2 Синхронизированное измерение дрейфа фазы

На рисунке II.1 приведена очень общая форма функциональной блок-схемы, необходимой для синхронизированного измерения дрейфа фазы.

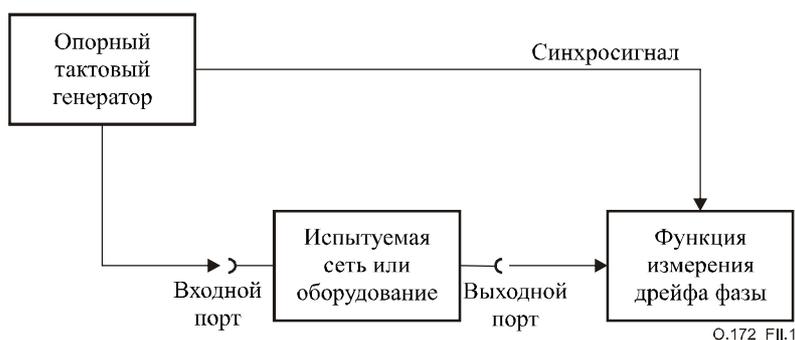


Рисунок II.1/O.172 – Конфигурация синхронизированного измерения дрейфа фазы

Данная конфигурация применима, если синхросигналы, требуемые для выполнения измерений, могут быть получены от общего опорного генератора тактовой частоты. Это означает, что таким образом могут быть проведены только местные измерения – когда входные и выходные порты испытываемого оборудования находятся в одной географической точке. В таком комплексе фазовые изменения опорного синхросигнала не влияют на результаты измерений. Таким образом, требования к стабильности опорного синхросигнала не очень высоки и могут быть выполнены в переносной контрольно-измерительной аппаратуре.

II.1.3 Несинхронизированное измерение дрейфа фазы

Блок-схема несинхронизированного измерения дрейфа фазы показана на рисунке II.2.

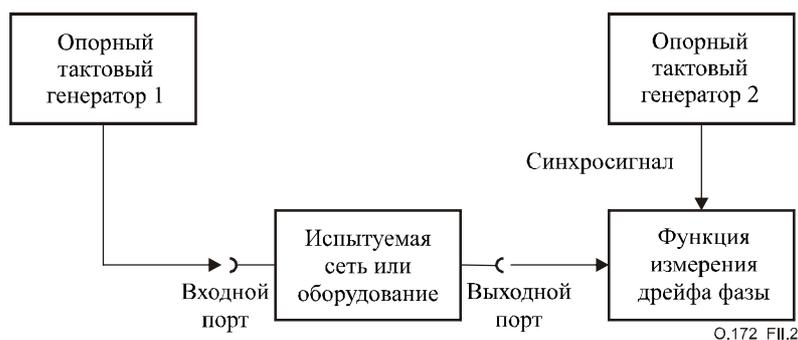


Рисунок П.2/О.172 – Конфигурация несинхронизированного измерения дрейфа фазы

Данная конфигурация применима для измерения дрейфа фазы в тех случаях, когда и входные, и выходные порты испытуемой сети или оборудования не находятся в одной географической точке (например, для сквозных измерений). В таком комплексе на результаты измерений влияют любые сдвиги фазы/частоты обоих опорных синхросигналов, используемых при измерениях. Это означает, что стабильность этих опорных синхросигналов должна быть, как минимум, на порядок лучше, чем измеряемая величина. Такие опорные синхросигналы не могут быть сформированы в переносной контрольно-измерительной аппаратуре, в таком случае требуется синхронизация от внешнего источника.

П.2 Измерение стабильности тактовой частоты

Если требуется измерить стабильность тактовой частоты, то измерительная установка будет похожей на описанную в П.1.3. Она показана на рисунке П.3.

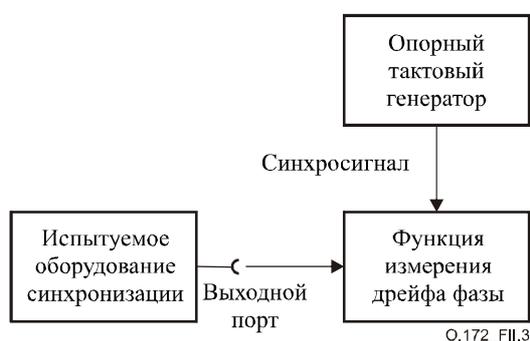


Рисунок П.3/О.172 – Конфигурация измерения стабильности тактовой частоты

В такой конфигурации, на результаты измерений также влияют любые сдвиги фазы/частоты опорного синхросигнала, используемого при измерениях. К этому случаю применимы те же рассуждения, что описаны в П.1.3.

Дополнение III

Руководящие указания по генерированию испытательной последовательности указателей

Функциональная блок-схема на рисунке III.1 и последующий текст описывают метод генерирования испытательной последовательности указателей, описанной в Рек. МСЭ-Т G.783 [6] и в п. 8.4.1. Данный рисунок не показывает конкретной реализации.

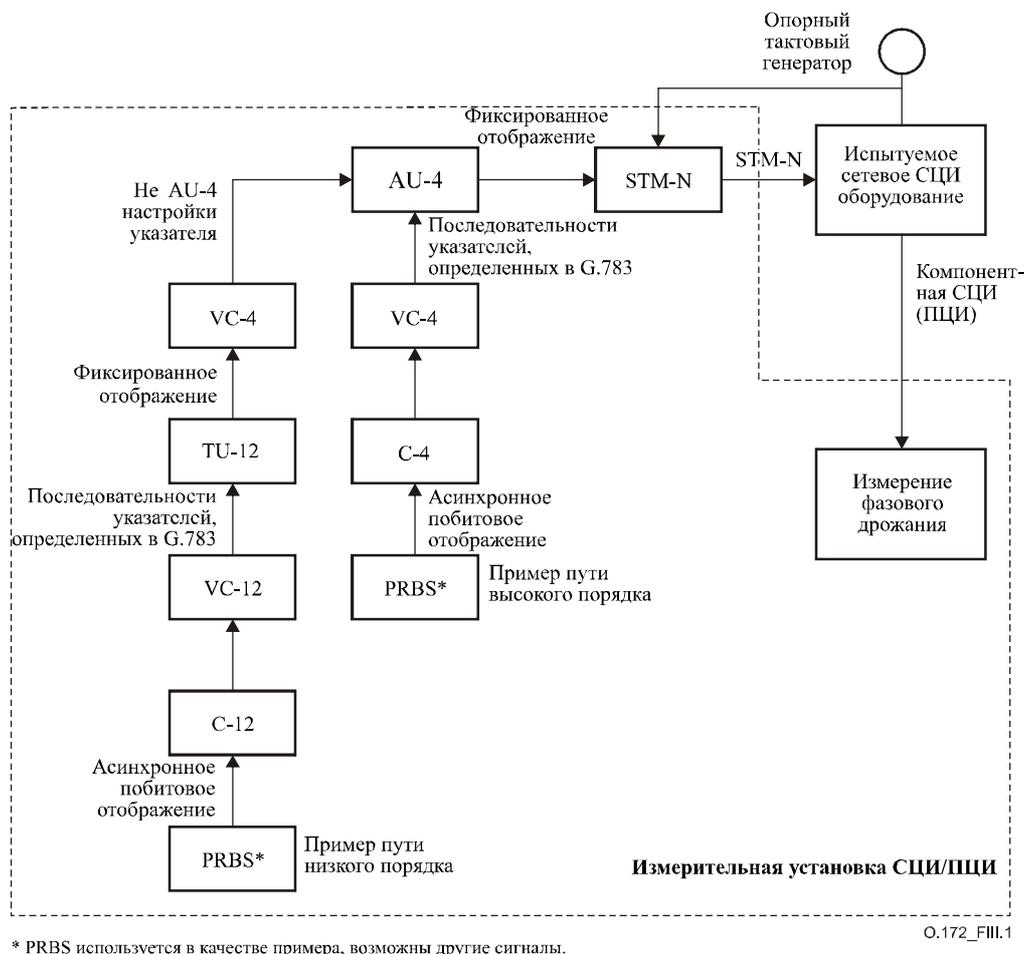


Рисунок III.1/O.172 – Функциональная блок-схема генерирования испытательной последовательности указателей

Для того чтобы генерировать испытательную последовательность указателей в соответствии с Рек. МСЭ-Т G.783 [6], возможности испытательного комплекса, конфигурация испытаний и пользователь испытательного комплекса должны учесть следующее:

- Измерительная установка СЦИ/ПЦИ и элемент сети должны синхронизироваться от одного источника тактовой частоты, для устранения любого случайного события подтверждения указателя, которое может помешать получению правильных результатов.
- Для измерения комбинированного указателя и отображаемого фазового дрожания, требуется возможность установки частоты ПЦИ последовательности PRBS в пределах диапазонов сдвига ПЦИ, определенных в Рек. МСЭ-Т G.703 [3].
- Для измерения только отображаемого фазового дрожания, должна быть обеспечена возможность подавления действий по подтверждению указателя.

- d) Для генерации заполняющей бинарной последовательности для асинхронного побитного отображения, необходимо с регулярными интервалами генерировать подтверждение одной полярности. Процесс отображения должен соответствовать п. 15.2.3.1/G.783[6].
- e) Генерация событий подтверждения указателя не должна зависеть от процесса отображения.
- f) Для создания тестовых последовательностей указателей TU-*m* нижнего порядка, указатель AU-*n* высокого порядка должен быть зафиксирован.
- g) Функции "последовательности указателей" и "побитного отображения" предполагают сдвиги частоты между генераторами тактовой частоты, от которых синхронизируются различные функциональные блоки.

Дополнение IV

Общий результат применения функции измерения фазового дрожания

IV.1 Введение

В разделе 9.3.2 определены фильтры для измерения фазового дрожания компонентных СЦИ сигналов. Эти спецификации написаны в значениях отдельных предельных параметров фильтров, таких как частота среза по уровню -3 дБ, допуск на коэффициент пропускания, неравномерность затухания в полосе пропускания и т. д.

Эти параметры предполагают, что существуют некоторые аналогичные пределы на общие частотные характеристики функции измерения фазового дрожания. В данном дополнении показано, как отдельные параметры фильтров могут быть объединены в единую частотную характеристику, параметры которой ограничены пределами маски.

IV.2 Параметры измерительного фильтра

В таблице IV.1 сведены различные параметры измерительного фильтра и их определения. В дальнейшем описании пределов маски, если значение конкретного параметра не определено в описании фильтра, то следует использовать значение "по умолчанию", приведенное в таблице IV.1.

Таблица IV.1/О.172 – Сводная спецификация параметров измерительного фильтра

Параметр измерительного фильтра	Определение параметра
n	Порядок фильтра ($n = 1$ – фильтр первого порядка, $n = 3$ – фильтр третьего порядка).
f_x	Номинальная частота среза по уровню -3 дБ или полоса фильтра.
a	Частичный допуск по частоте среза (\pm). Значение по умолчанию не определено.
f_p	Частота второго полюса фильтра. Значение по умолчанию: 0 для ФВЧ, ∞ для ФНЧ.
g	Частичный допуск по усилению (см. п. 9.3.2 с)).
r	Неравномерность затухания в полосе пропускания (\pm) в дБ. Значение по умолчанию: 0.
v	Максимальное затухание в дБ. Значение по умолчанию не определено.

IV.3 Ограничения маски для частотной характеристики измерительного фильтра верхних частот

Верхний и нижний пределы маски для частотной характеристики равны $Upper(f)$ и $Lower(f)$ и определены ниже. Эти маски применимы для диапазона частот $f < 10f_x$.

$$U = \begin{cases} U(f) + r, & f > f_x \\ -c, & U(f) < -c \\ U(f), & \text{в противном случае} \end{cases},$$

где:

$$U(f) = 20 \cdot \log \left[\frac{(1-g)f^n}{\sqrt{f^{2n} + ((1+a)f_x)^{2n}}} \right] \quad (IV-1)$$

$$Lower(f) = \begin{cases} L(f) - r, & f > f_x \\ -\infty, & L(f) < -c \\ L(f), & \text{в противном случае} \end{cases},$$

где:

$$L(f) = 20 \cdot \log \left[\frac{(1-g)f^n}{\sqrt{f^{2n} + ((1+a)f_x)^{2n}}} \frac{f}{\sqrt{f^2 + f_p^2}} \right]. \quad (IV-2)$$

IV.3.1 Измерительный ФВЧ для измерения фазового дрожания компонентных СЦИ сигналов

В качестве примера рассмотрим измерительный ФВЧ для фазового дрожания компонентных СЦИ сигналов, определенный для 2048 кбит/с, и имеющий параметры $n = 1$, $f_x = 20$ Гц, $a = 0,1$, $f_p = 0,1$ Гц, $g = 0,07$, $r = 0$ и $c = 60$ дБ. Тогда верхний и нижний пределы маски для частотной характеристики функции измерения фазового дрожания будут такими, как показано на рисунке IV.1.

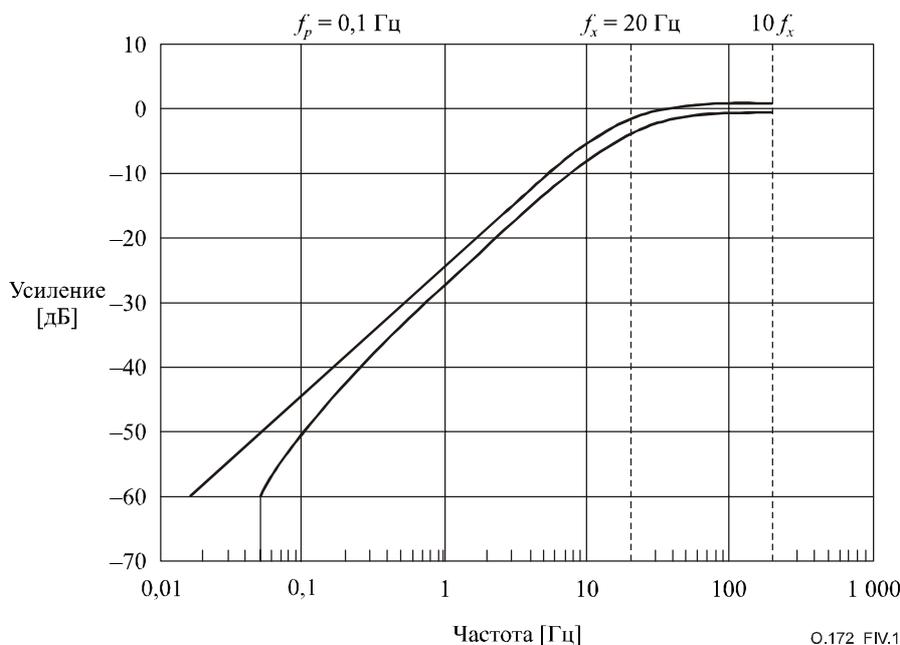


Рисунок IV.1/О.172 – Пределы маски для измерительного ФВЧ для фазового дрожания сигнала 2048 кбит/с на частоте 20 Гц

Как правило, когда частотная характеристика функции измерения фазового дрожания испытательного комплекса лежит на верхнем или нижнем пределе маски, ошибка измерения (размаха или среднеквадратического значения) максимальна; другие положения частотной характеристики дают меньшую ошибку. Замена значения $g = -0,07$ на $a = +0,10$ или значения $g = +0,07$ на $a = -0,10$ приводит к расширению точек пересечения пределов маски на уровне -3 дБ. Следовательно, пределы маски для уровня -3 дБ могут превысить пределы $a = \pm 10\%$, определенные для номинальной частоты среза по уровню -3 дБ.

Дополнение V

Проверка алгоритмов расчета МИВИ и ОтВр

V.1 Функциональное описание источника шума ИВИ

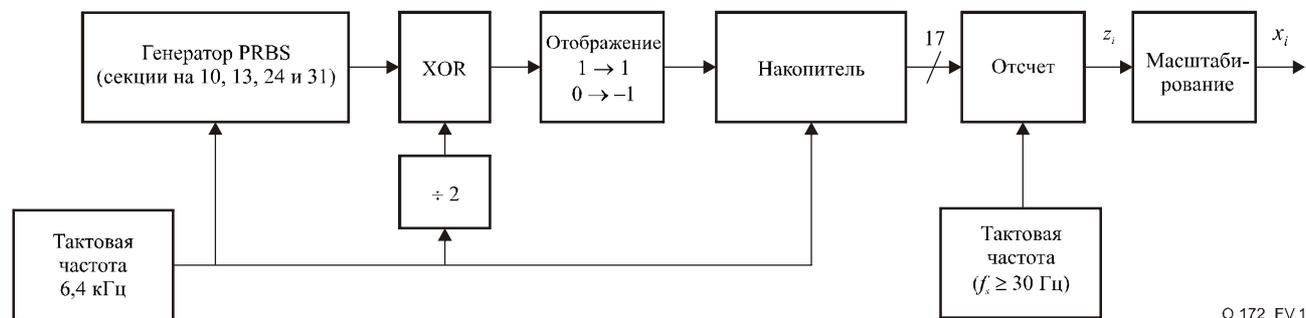
Для того чтобы проверить точность отдельных алгоритмов расчета МИВИ и ОтВр (см. пп. 10.4.2 и 10.5.2), может использоваться определенный источник шума ИВИ.

Спецификации точности расчетного алгоритма МИВИ и ОтВр (см. пп. 10.4.2 и 10.5.2), как правило, применимы ко всем возможным формам сигнала, из которых вычисляются МИВИ и ОтВр. Поскольку измерять множество форм сигналов непрактично, для оценки можно использовать простой генератор тестовой последовательности. Эта последовательность должна иметь спектральную плотность $1/f^2$ и функцию распределения вероятности, которая является примерно Гауссовой (удовлетворяет критериям Приложения С).

V.2 Первый пример генератора шума ИВИ

Один из генераторов ИВИ, удовлетворяющий указанным требованиям, показан на рисунке V.1. Он основан на генераторе псевдослучайной бинарной последовательности (PRBS), имеющем длину 31. Выходной сигнал генератора PRBS – псевдослучайная последовательность нулей и единиц. Выходной сигнал генератора ИВИ – последовательность чисел x_i со скоростью f_s , в которой испытуемый алгоритм присваивает числам весовые коэффициенты в наносекундах (нс), а f_s – взаимно обратна интервалу дискретизации, ожидаемому от алгоритма (не менее 30 Гц).

Заметим, что, хотя тактовая частота системы равна 6,4 кГц, числа x_i генерируются с меньшей частотой f_s , используя субдискретизацию. Последовательность на выходе генератора шума ИВИ повторяется каждые 671 000 секунд. Числа z_i до масштабирования имеют динамический диапазон с размахом 99 123. Коэффициент масштабирования на рисунке V.1 выбран таким, чтобы соответствовать взвешивающему младшему биту испытуемого алгоритма, так, что динамический диапазон выходного сигнала x_i соответствует размаху в 50 000 нс.



O.172_FV.1

Рисунок V.1/O.172 – Источник шума ИВИ, используемый для проверки алгоритмов расчета МИВИ и ОтВр

V.3 Второй пример генератора шума ИВИ

Другой генератор ИВИ для проверки алгоритмов расчета МИВИ и ОтВр показан на рисунке V.2. Он принципиально отличается от показанного на рисунке V.1 по функции отображения, в которой $w(n)$ – числа с плавающей запятой от $-2,884$ до $2,884$, определенные выражением:

$$\frac{n+0,5}{256} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{w(n)} e^{-0,5t^2} dt.$$

Выходная последовательность x_i имеет период повторения 335 500 секунд, и ее динамический диапазон z_i до масштабирования составляет 64 167 в размахе. Коэффициент масштабирования на рисунке V.2 выбран таким, чтобы соответствовать взвешивающему младшему биту испытываемого алгоритма, так, что динамический диапазон выходного сигнала x_i соответствует размаху в 50 000 нс.

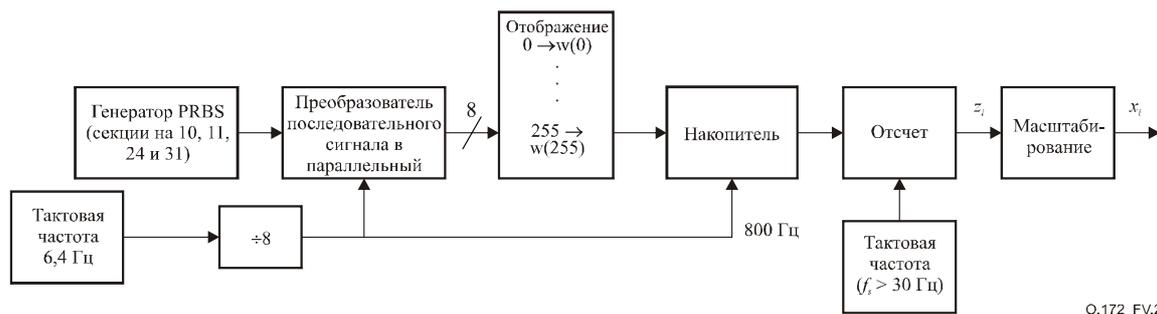


Рисунок V.2/O.172 – Второй источник шума ИВИ, используемый для проверки алгоритмов расчета МИВИ и ОтВр

Дополнение VI

Оценка генерирования ИВИ

Требование к измерительному оборудованию по генерированию маски допусков дрейфа фазы МИВИ таково, что спецификация точности должна выполняться без ослабления в измерительном фильтре дрейфа фазы низких частот. Это означает, что генерирование допусков дрейфа фазы МИВИ может быть таким, как требуется и соответствовать указанному в спецификации; однако, измерения МИВИ могут проявлять эффекты ослабления в измерительном фильтре дрейфа фазы, обычно на частоте 10 Гц. Для точного измерения формы сигнала МИВИ, рекомендуется, чтобы использовалась полоса частот, оказывающая влияние менее чем на 1% результата, т. е. минимум 500 Гц.

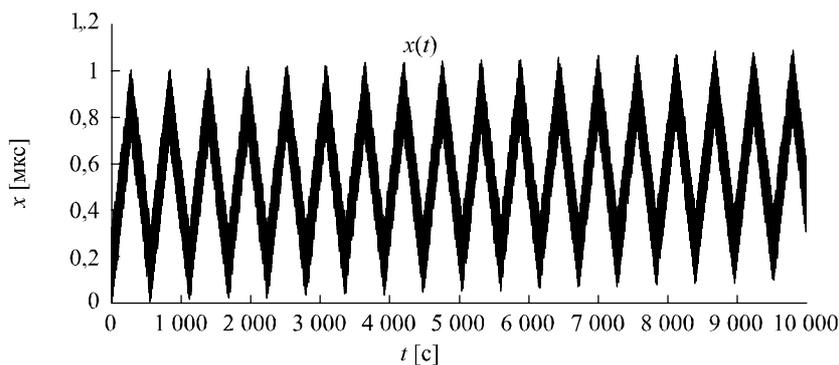
Приведенные ниже примеры показывают 2 сигнала МИВИ, оба соответствуют требованиям настоящей Рекомендации и оба создают разумную величину влияния МИВИ для данного сетевого интерфейса (таблица 10/G.812).

На рисунке VI.1 показан первый сигнал и влияние измерительного фильтра дрейфа фазы с полосой 10 Гц, а на рисунке VI.2 показан соответствующий МИВИ. На рисунке VI.3 показан первый сигнал и влияние измерительного фильтра дрейфа фазы с полосой 500 Гц, а на рисунке VI.4 показан соответствующий МИВИ. Результат измерений в полосе 500 Гц лежит в пределах 1% воздействия МИВИ на интерфейс, тогда как результат измерений в полосе 10 Гц дает до 50% ошибок.

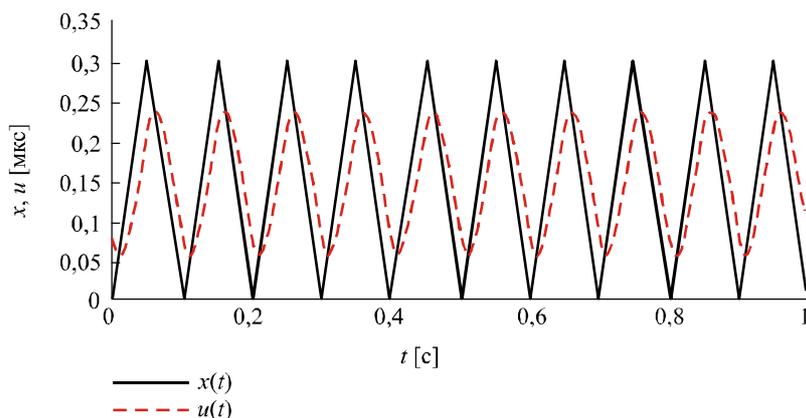
На рисунке VI.5 показан измененный сигнал, используемый создания того же воздействия МИВИ. На рисунке VI.6 показан результат, на этот раз, измеренный в пределах 1% с использованием измерительного фильтра дрейфа фазы с полосой 10 Гц для $\tau > 0,1$ с.

Различие между этими двумя сигналами МИВИ – минимальная полоса, необходимая для точного измерения максимального воздействия, создаваемого МИВИ в каждом случае. Оба варианта дают корректный результат воздействия МИВИ, но возможная ошибка при измерении с первым сигналом в полосе 10 Гц, показывает пользователю, что для гарантии получения точных показателей испытательного оборудования требуется минимальная полоса 500 Гц.

На рисунках VI.1-а и -б показана тестовая последовательность $x(t)$ для таблицы 10/G.812. Здесь, повторяющиеся переходы на рисунке VI.1 – это три наложенных треугольных сигнала $w_1(t)$, $w_2(t)$ и $w_3(t)$. Их амплитуды равны $A_1 = 0,3$, $A_2 = 0,7$ и $A_3 = 0,097$ мкс, а значения времени нарастания составляют $\tau_1 = 0,05$, $\tau_2 = 280$ и $\tau_3 = 10\,000$ с, соответственно. Пунктирная линия на рисунке VI.1-б – это выходной сигнал $u(t)$ измерительного фильтра дрейфа фазы с полосой 10 Гц. На рисунке VI.1-б величина размаха $u(t)$ уменьшена из-за того, что низкая частота $w_1(t)$, которая является одной из составляющих $x(t)$, равна частоте среза измерительного фильтра дрейфа фазы.



а) Тестовая последовательность для $t = 0-10\,000$ с



б) Тестовая последовательность для $t = 0-1$ с O.172_FVI.1

Рисунок VI.1/О.172 – Тестовая последовательность для таблицы 10/G.812 маска МИВИ, созданная при помощи повторений переходов (измерительный ФНЧ с полосой 10 Гц)

Рассчитанные значения МИВИ для $x(t)$ и $u(t)$ на рисунке VI.1 показаны на рисунке VI.2. МИВИ для $x(t)$ соответствует маске МИВИ. Однако МИВИ для $u(t)$ меньше, чем маска МИВИ. Поскольку функция измерения дрейфа фазы может вычислить МИВИ только для $u(t)$, невозможно подтвердить, соответствует ли тестовая последовательность МИВИ $x(t)$ маске МИВИ.

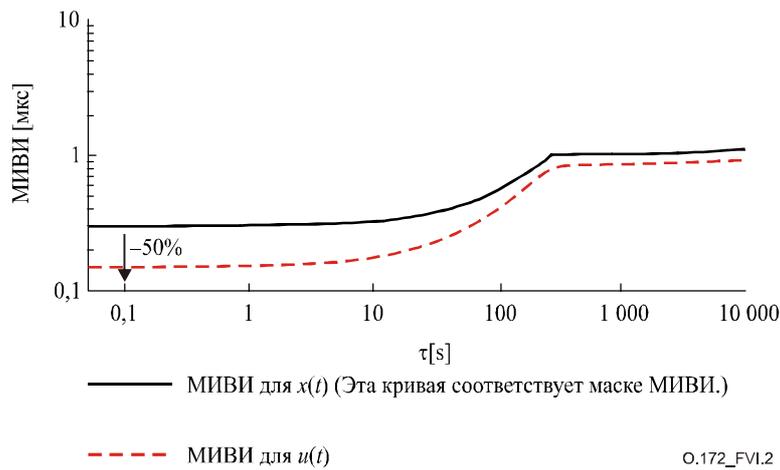


Рисунок VI.2/O.172 – МИВИ сигналов $x(t)$ и $u(t)$ на рисунке VI.1

На рисунке VI.3 показан тот же самый сигнал $x(t)$, отфильтрованный измерительным фильтром дрейфа фазы с полосой 500 Гц, а на рисунке VI.4 – результирующее значение МИВИ. Влияние МИВИ, измеренного фильтром с полосой 500 Гц, теперь менее чем на 1% отличается от генерированного МИВИ.

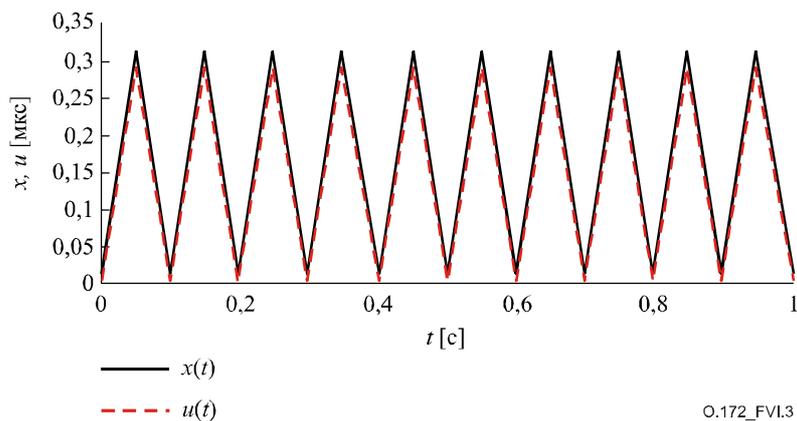


Рисунок VI.3/O.172 – Тестовая последовательность для МИВИ маски из таблицы 10/G.812, созданной повторяющимися переходами (измерительный ФНЧ, полоса 500 Гц)

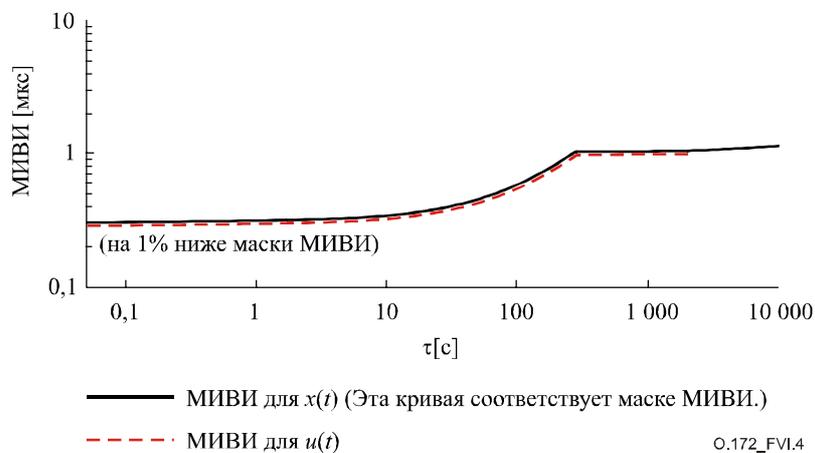


Рисунок VI.4/O.172 – МИВИ сигналов $x(t)$ и $u(t)$ на рисунке VI.3

Измененный сигнал $x(t)$, имеющий трапецевидную форму, показан на рисунке VI.5 сплошной линией. Пунктирная линия $u(t)$ показывает форму сигнала после фильтрации фильтром с полосой 10 Гц.

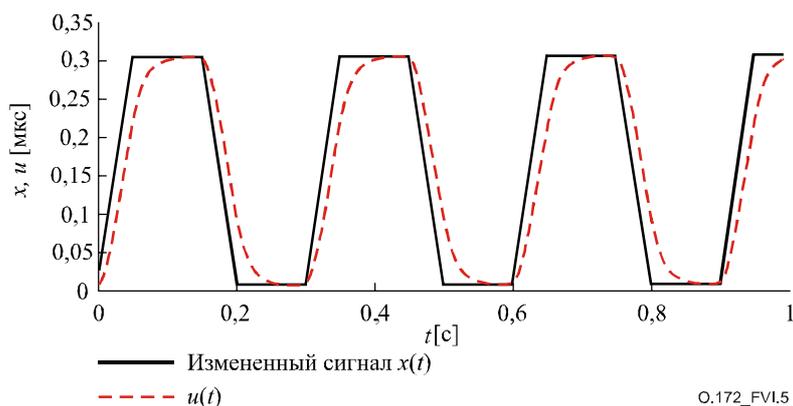


Рисунок VI.5/O.172 – Измененная тестовая последовательность для $t = 0-1$ с повторяющимся переходом $w_1(t)$ на рисунке VI.1-b (измерительный ФНЧ с полосой 10 Гц)

МИВИ измененной тестовой последовательности $x(t)$ и МИВИ сигнала $u(t)$ показаны на рисунке VI.5. МИВИ сигнала $u(t)$ совпадает с маской МИВИ в пределах 0,1% для $\tau > 0,1$ с.

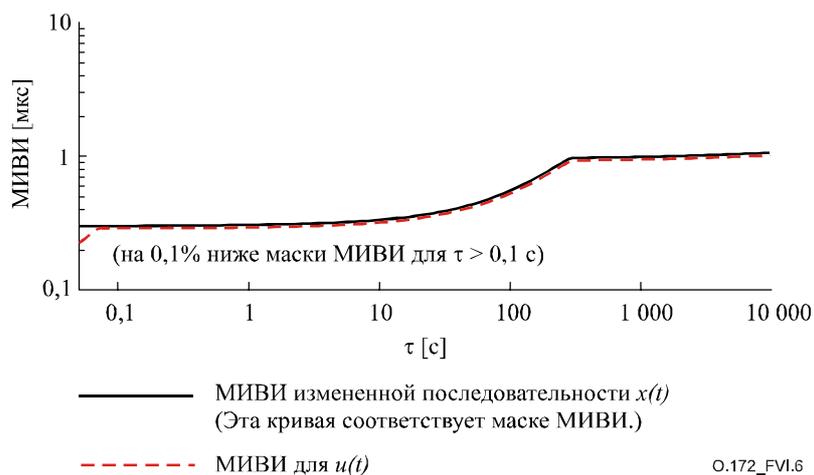


Рисунок VI.6/O.172 – МИВИ сигналов $x(t)$ и $u(t)$ на рисунке VI.5

Дополнение VII

Методика проверки точности результатов измерения и присущей им фиксированной ошибки

VII.1 Описание и применение проверки

Данное дополнение описывает методику и приводит примеры ее применения для проверки и оценки точности результатов измерения, определенных в п. 9.4.1. Эта методика позволяет пользователю эффективно вычесть ошибки, вносимые измерительным оборудованием, из измеряемого сигнала. Методика предусматривает применение высококачественного эталонного передатчика, способного добавлять синусоидальный модулированный сигнал с переходом импульсов. Дополнительное фазовое дрожание передатчика, зависящее от тестовой последовательности, можно считать пренебрежимо малым и, следовательно, его можно удалить из расчетов ошибки.

Данная схема использует высококачественный оптический передатчик и генератор последовательности с минимальным фазовым дрожанием, зависящим от тестовой последовательности на скоростях, используемых в испытываемой линии. Предпочтительным значением является величина с размахом менее 10 mUI, измеренная в полосе f_1-f_4 . Также описывается общий модулятор фазового дрожания, имеющий возможность генерировать синусоидальное фазовое дрожание. Оба метода могут быть проверены при помощи обычного измерительного оборудования. Методика, описанная в Дополнении VIII, может применяться для проверки внутреннего фазового дрожания оптического генератора тестовой последовательности.

Применение этого метода дает возможность пользователям и продавцам точно измерить фазовое дрожание измерительного оборудования.

VII.2 Реализация системы

Блок-схема системы показана на рисунке VII.1. Блок калибровки используется для установки и проверки тактового сигнала фазового дрожания и оптических сигналов данных. Он предназначен для применения в измерении низких амплитуд фазового дрожания и, таким образом, пригоден для генерирования синусоидального сигнала с числом переходов до 100 mUI для проверки метода измерения фазового дрожания. Частоты модуляции, как правило, создаются в диапазоне от f_1 до f_4 .



Рисунок VII.1/О.172 – Блок диаграмма системы проверки

На рисунках VII.2, VII.3 и VII.4 показаны примеры реализации общей системы, изображенной на рисунке VII.1. Они иллюстрируют возможные значения для создания независимо проверяемых сигналов фазового дрожания тактовой частоты и средств для удаления фазового дрожания из оптического сигнала данных, все это не ограничивает возможности использования других методов реализации.

Блок-схема секции тактового генератора показана на рисунке VII.2. Здесь он реализован с использованием двух высококачественных синтезаторов – генераторов 1 и 2 для формирования линейного тактового сигнала и синусоидальной фазовой модуляции фазового дрожания. Относительные уровни амплитуды этих генераторов будут определять амплитуду создаваемого фазового дрожания, относительные частоты модуляции фазового дрожания. Например, генератор 1 – линейный тактовый генератор, генератор 2 установлен на частоту линии плюс (или минус) некий сдвиг – синусоидальная фазовая модуляция будет создаваться на частоте сдвига, на линейной тактовой частоте.

Рекомендуется, чтобы относительные амплитуды генераторов регулировались по фазовой модуляции до 100 mUI, эта величина может быть откалибрована с применением спектроанализатора, используя обычные теоретические методы ЧМ. Сигнал импульсного генератора используется для регулировки синхронизации генератора 2, и, таким образом, непосредственно регулирует время импульсной модуляции.

Синхронизация импульсов модуляции относительно структуры кадра требует дальнейшего изучения.

Для минимизации возможных разрывов фазы, импульс модуляции должен синхронизироваться либо в моменты перехода синусоидального модулирующего сигнала через ноль, либо, наоборот, должен иметь максимальное время перехода, определенное примерно, следующим выражением:

$$t \approx \frac{0,342}{f_4}.$$

Фазовое дрожание вносит в высококачественный РЧ синтезатор шум типа того, который может быть оценен с применением анализа фазового шума. Вполне вероятно, что фазовое дрожание, вносимое высококачественным генератором, минимально во всей интересующей нас полосе частот измерений, и может быть исключено из рассмотрения при измерении ошибки приемника. Методика, описанная в Дополнении VIII, может использоваться для проверки того, какое случайное фазовое дрожание вносит генератор оптической тестовой последовательности.

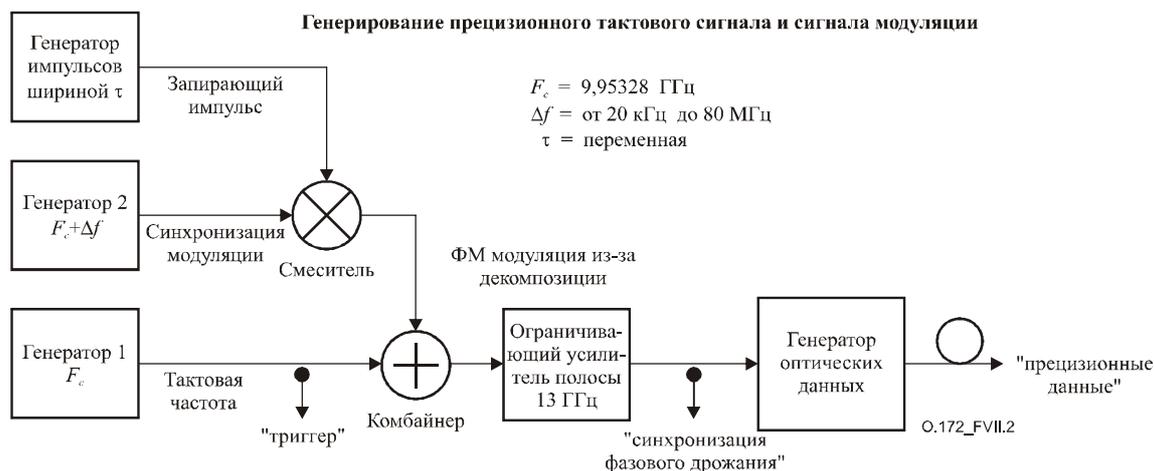


Рисунок VII.2/О.172 – Пример блок диаграммы генерирования тактового сигнала и фазового дрожания

Блок-схема секции данных показана на рисунке VII.3. Она реализована с использованием традиционного генератора последовательности, соединенного с двойной схемой модуляции для выполнения функций оптической пересинхронизации.

Модулятор данных работает как традиционный модулятор, следовательно, присутствует фазовое дрожание, зависящее от сигнальной последовательности. Второй формирующий импульсы модулятор выполняет функцию оптической пересинхронизации. На выходе получаем оптическую

функцию AND для обрезанных импульсов (тактовые импульсы с уменьшенной шириной) и данные (без возврата к нулю) NRZ. Результирующему выходному сигналу данных присуще пониженное фазовое дрожание с пересинхронизированными тактовыми импульсами – теперь это импульсы данных (с возвратом к нулю) RZ. Данные RZ – это импульсы, растянутые в данных NRZ, которым не свойственно фазовое дрожание, зависящее от сигнальной последовательности.

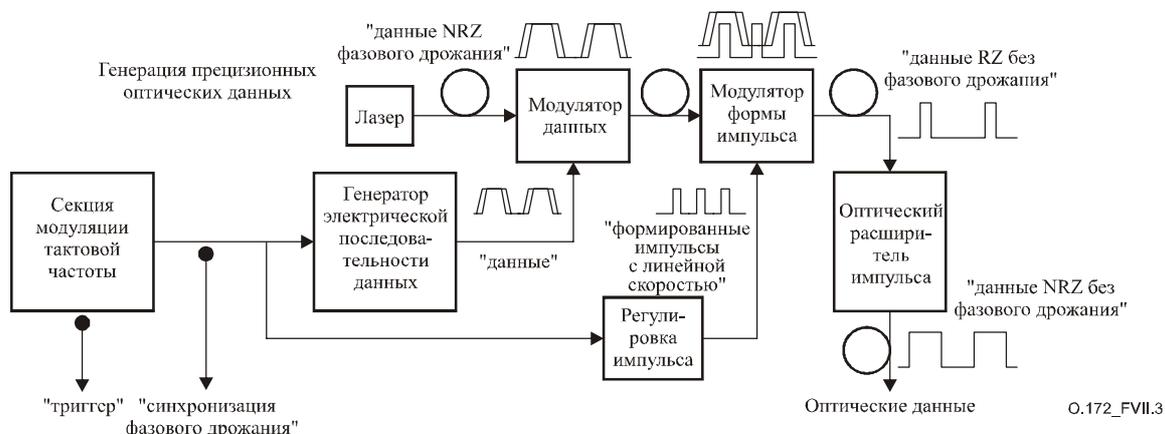


Рисунок VII.3/O.172 – Примерная блок-диаграмма генерирования оптических данных

На рисунке VII.4 показан другой вариант реализации опорного передатчика. Например, оптический модулятор STM-64 хорошего качества станет эффективным опорным передатчиком для STM-16 с пренебрежимо малым фазовым дрожанием, зависящим от последовательности. Этот метод также эффективен для реализации генераторов оптических данных, пригодных для проверки параметров приемника.

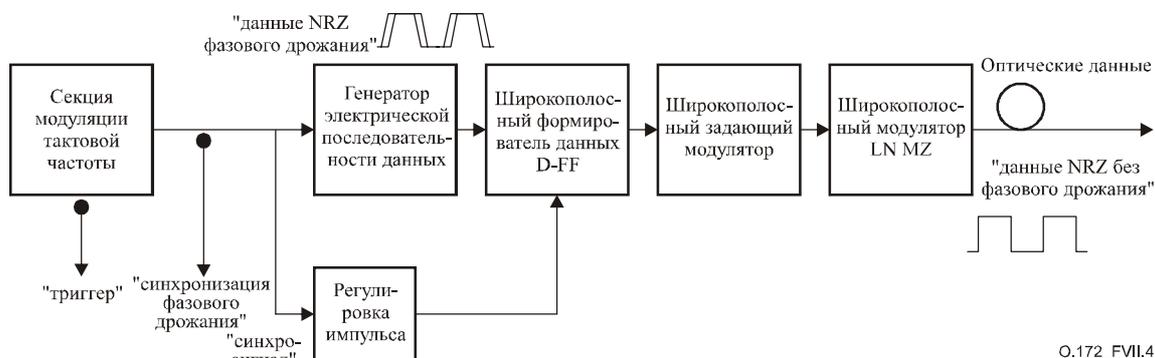


Рисунок VII.4/O.172 – Вторая блок-диаграмма генерирования оптических данных

VII.3 Результаты и их интерпретация

Система проверки может использоваться для измерений длины различных модулирующих импульсов и частоты повторения. Пользователь системы управляет всей областью, которая должна быть измерена с целью проверки на соответствие настоящей Рекомендации. Предполагается, что на каждой частоте модуляции может быть создана карта точности с различными переходными значениями ширины и частот повторения. Пример приведен на рисунке VII.5.

Пример карты точности измерений фазового дрожания

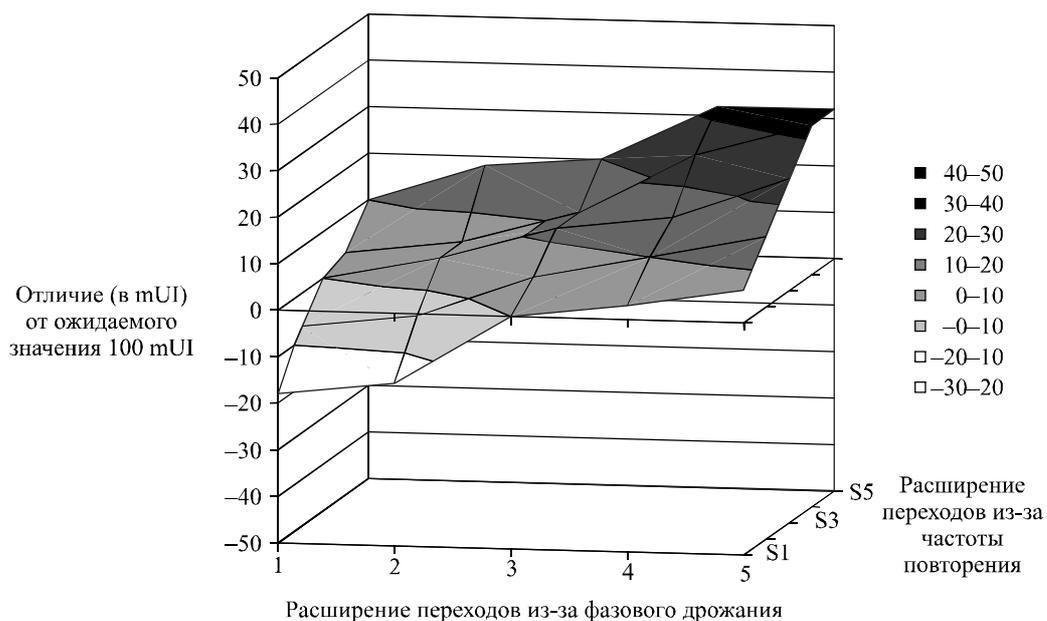


Рисунок VII.5/О.172 – Пример карты результатов измерения фазового дрожания

Диапазон частот модуляции, значений ширины импульса и скорости повторения зависит от полосы частот измерения фазового дрожания, которая связана с применяемой скоростью передачи. Возможные комбинации частот модуляции, значений ширины импульса и скорости повторения приведены в таблице VII.1.

Таблица VII.1/О.172 – Комбинации частот модуляции, значений ширины импульса и скорости повторения

Сигнал	Частота модуляции f_m	Минимальная ширина импульса t_{min}	Ширина импульса > t_{min}				
TM-1	1 кГц ^{a)}	2 мс	–	–	–	–	–
	65 кГц ^{a)}	31 мкс	–	–	–	100 мкс	1 мс
	300 кГц	6,7 мкс	–	–	–	100 мкс	1 мс
	1,3 МГц	1,5 мкс	–	–	10 мкс	100 мкс	1 мс
STM-4	10 кГц ^{a)}	200 мкс	–	–	–	–	1 мс
	250 кГц ^{a)}	8 мкс	–	–	–	100 мкс	1 мс
	1 МГц	2 мкс	–	–	10 мкс	100 мкс	1 мс
	5 МГц	400 нс	–	–	10 мкс	100 мкс	1 мс
STM-16	50 кГц ^{a)}	40 мкс	–	–	–	100 мкс	1 мс
	1 МГц ^{a)}	2 мкс	–	–	10 мкс	100 мкс	1 мс
	5 МГц	400 нс	–	–	10 мкс	100 мкс	1 мс
	20 МГц	100 нс	–	1 мкс	10 мкс	100 мкс	1 мс
STM-64	200 кГц ^{a)}	10 мкс	–	–	–	100 мкс	1 мс
	3 МГц ^{a)}	667 нс	–	–	10 мкс	100 мкс	1 мс
	20 МГц	100 нс	–	1 мкс	10 мкс	100 мкс	1 мс
	80 МГц	25 нс	100 нс	1 мкс	10 мкс	100 мкс	1 мс

а) Частота повторения импульса должна быть от 10 Гц до 10 кГц.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Применимо только, когда для измерения фазового дрожания используется ФВЧ f_1 .

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Период измерений должен составлять 60 секунд.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Минимальная частота повторения импульсов 10 Гц выбрана для повторяемости результатов измерений и основана на повторении тестовой последовательности PRBS.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Значения ширины импульсов 100 мкс и 1 мс могут использоваться только, когда частота повторения импульсов менее 10 кГц и 1 кГц соответственно.

Допустимая ошибка измерений определена в п. 9.4. Она дается в виде $\pm R\%$ для считанного результата $\pm W$. Для сигнала STM-64 в примере точка на частоте 10 МГц R определена равной 20% и W определена как (для полосы частот измерений f_3-f_4) равной 35 mUI. Это означает, что при номинальной амплитуде фазового дрожания, равной 100 mUI максимальная допустимая ошибка составляет ± 55 mUI (номинальная частотная характеристика измерительного фильтра и ошибка системы проверки не учитываются).

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Ошибка, обусловленная фазовым дрожанием эталонного передатчика, зависящим от сигнальной последовательности, требует дальнейшего изучения.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Дополнение VII разработано специально для использования со структурированными испытательными сигналами, определенными в Приложении А. Проверка в Дополнении VIII фазового дрожания, зависящего от сигнальной последовательности (Дополнение VII) ограничена применением стандартных тестовых последовательностей, определенных в Дополнении VIII.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Секция генерирования прецизионного сигнала тактовой частоты может применяться для оценки ошибки измерительной установки для измерения фазового дрожания СЦИ при работе с электрическими тактовыми интерфейсами, определенными в п. 9.4.1.

Дополнение VIII

Метод описания фазового дрожания, присущего передаче сигналов

VIII.1 Описание и применение проверки

Данное дополнение описывает методику и ее реализацию для проверки и описания передаваемого при помощи специальной тестовой последовательности фазового дрожания. Этот метод может применяться для устранения передаваемых и принимаемых компонентов фазового дрожания измерительного оборудования.

Для данной методики требуется использовать стабильный, повторяемый, подобный СЦИ тестовый кадр. Этот тестовый кадр предназначен для использования в качестве потенциального диагностического инструмента и не предназначен для измерения параметров испытуемого сетевого оборудования или устройств.

Этот метод может применяться для оценки влияния фазового дрожания, зависящего от сигнальной последовательности, и случайного фазового дрожания малых источников фазового дрожания данных, определенных в Дополнении VII.

Для данной методики требуется использовать высококачественный триггер кадра последовательности.

Долговременный дрейф фазы между тактовым сигналом и сигналом данных считается потенциальным источником ошибки и должен учитываться в любых измерениях.

VIII.2 Методика

Этот метод предназначен для точного определения среднеквадратического значения и размаха из-за переходов данных при помощи определенной тестовой последовательности.

VIII.2.1 Измерение фазового дрожания тестового кадра, зависящего от сигнальной последовательности

- 1) Установить передатчик на создание кадрированного тестового СЦИ сигнала, определенного в VIII.3.
- 2) Использовать осциллограф с полосой частот измерений, эквивалентной фильтру Бесселя-Томпсона четвертого порядка с частотой ослабления по уровню 3 дБ, соответствующей 0,75 скорости передачи, для выделения сигналов данных и синхронизации. Полоса частот измерений должна быть установлена в соответствии с Приложением В/G.957 и Приложением А/G.691.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Ошибка, связанная с выделением данных, требует дальнейшего изучения.

- 3) Установить выделение данных на усреднение в течение, как минимум, 64 проходов для удаления случайного фазового шума. Настроить фазу нарастающего фронта тактового сигнала так, чтобы она точно совпала с границами сигнала СЦИ. (Это минимизирует влияние нелинейности временной базы осциллографа.) Измерить время (в UI) между нарастающим фронтом тактового сигнала и соответствующим краем сигнала СЦИ (в пределах $\pm 0,5$ UI). См. рисунок VIII.1 – так формируется последовательность значений фазы, зависящих от сигнальной последовательности x_i .
- 4) Если для некоторого i не существует соответствующего края сигнала СЦИ, назначить значение $x_i = 0$. Измерить x_i в течение одного периода кадра СЦИ, т. е. размер блока данных $[x_1..x_N]$ равен $N = 125 \times 10^{-6} \times f_0$, где f_0 – соответствующая скорость передачи. Затем математически создать новую последовательность, используя следующую формулу:

$$x'_i = \frac{\sum_{n=1}^{24} x_{i-n}}{\sum_{n=1}^{24} p_{i-n}},$$

где p_i представляет собой информацию о плотности последовательности. Назначить $p_i = 1$, когда существует край сигнала СЦИ, назначить $p_i = 0$, когда нет перехода данных. См. рисунок VIII.2.

Заменить значения x'_i в последовательностях x_i , когда не существует измеренного значения края СЦИ.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Ошибка, обусловленная алгоритмом введения фазы, требует дальнейшего изучения.

- 5) Отфильтровать последовательность x_i математически с использованием соответствующих ВЧ и ФНЧ для формирования последовательности значений фазового дрожания, зависящих от последовательности y_i .
- 6) Использовать методы гистограмм для определения функции распределения вероятности PDF_y последовательности y_i .
- 7) Из PDF_y рассчитать среднеквадратическое значение последовательности y_i . Эта величина σ_{PD} является среднеквадратическим фазовым дрожанием, зависящим от последовательности.

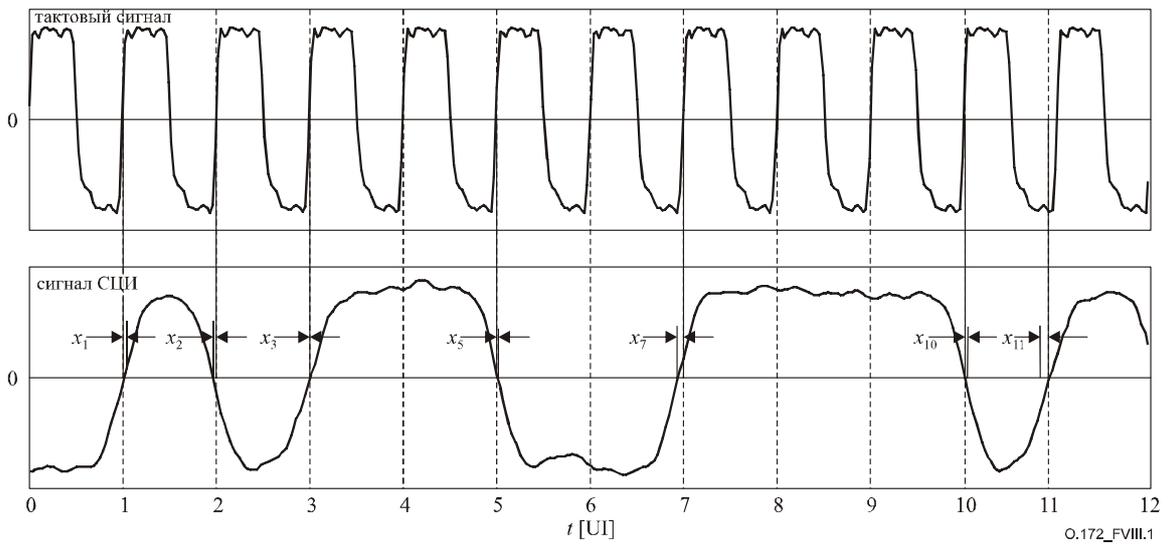


Рисунок VIII.1/O.172 – Измерение последовательности фаз, зависящих от сигнальной последовательности x_i

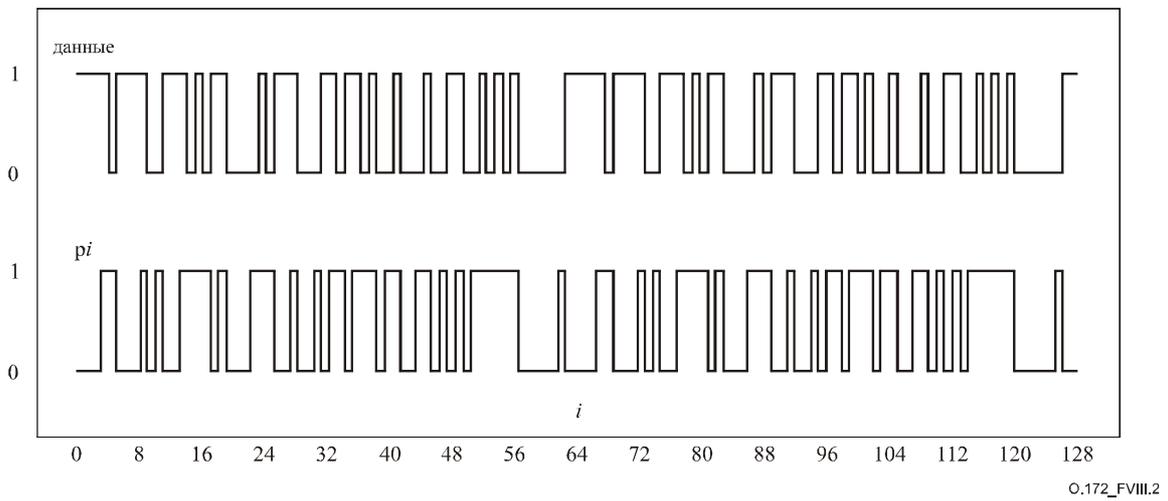
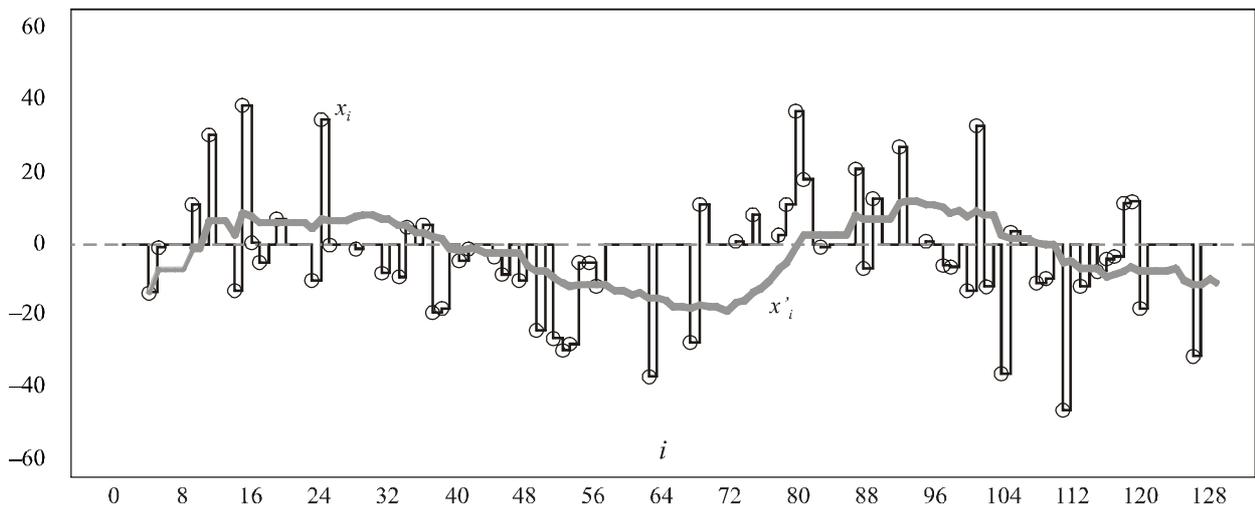


Рисунок VIII.2/O.172 – Сигнальная последовательность и плотность переходов p_i



O.172_FVIII.3

Рисунок VIII.3/O.172 – Нефильтрованные значения фазы x_i и x'_i

VIII.2.2 Измерение случайного фазового дрожания тактового сигнала

- 1) Установить передатчик на создание последовательности данных 1010... (Это исключит фазовое дрожание, зависящее от сигнальной последовательности.)
- 2) Подать сигнал на спектроанализатор, в случае оптического сигнала используйте широкополосный оптоэлектрический (О/Е) преобразователь. Из ОБП шума на одной стороне полу-полосной компоненты определить спектральную плотность мощности PSD_{RP} случайного фазового шума. (Преобразовывая ОБП шум в значения $UI^2/Гц$, помните, что один цикл полу-полосной компоненты составляет 2 UI.)
- 3) Математически применить к PSD_{RP} подходящую фильтрацию (верхних и нижних частот) для получения значения спектральной плотности мощности PSD_{RJ} случайного шума фазового дрожания.
- 4) Проинтегрировать PSD_{RJ} по всем значениям f и взять квадратный корень для получения среднеквадратического значения σ_R случайного шума фазового дрожания.

VIII.2.3 Оценка общего фазового дрожания с использованием PDF

- 1) Среднеквадратическое значение суммарного фазового дрожания равно $\sigma_T = [\sigma_{PD}^2 + \sigma_R^2]^{0.5}$.
- 2) Предполагая, что случайный шум фазового дрожания является Гауссовским, используйте σ_R для получения функции плотности вероятности PDF_R случайного шума фазового дрожания.
- 3) Вычислите свертку PDF_y , зависящей от сигнальной последовательности, со случайной PDF_R для получения функции распределения вероятности PDF_T суммарного фазового дрожания.
- 4) Рассчитайте средний размах фазового дрожания, зная PDF_T , зная полосу частот фазового дрожания, и зная интервал измерения. Расчеты приведены в VIII.4.

VIII.3 Состав диагностических испытаний

- 1) На рисунках VIII.4 и VIII.5 определены диагностические тестовые последовательности СЦИ. Они пригодны для использования с сигналами STM-64 и STM-16.
- 2) Последовательность для STM-256 требует дальнейшего изучения.
- 3) Состав диагностических испытаний, моделирующих влияние длинных PRBS, требует дальнейшего изучения.



Рисунок VIII.4/O.172 – Тестовая последовательность 1

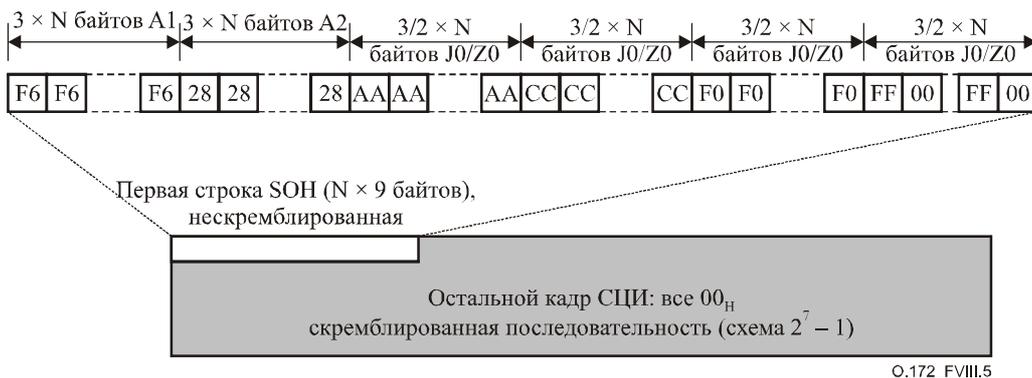


Рисунок VIII.5/O.172 – Тестовая последовательность 2

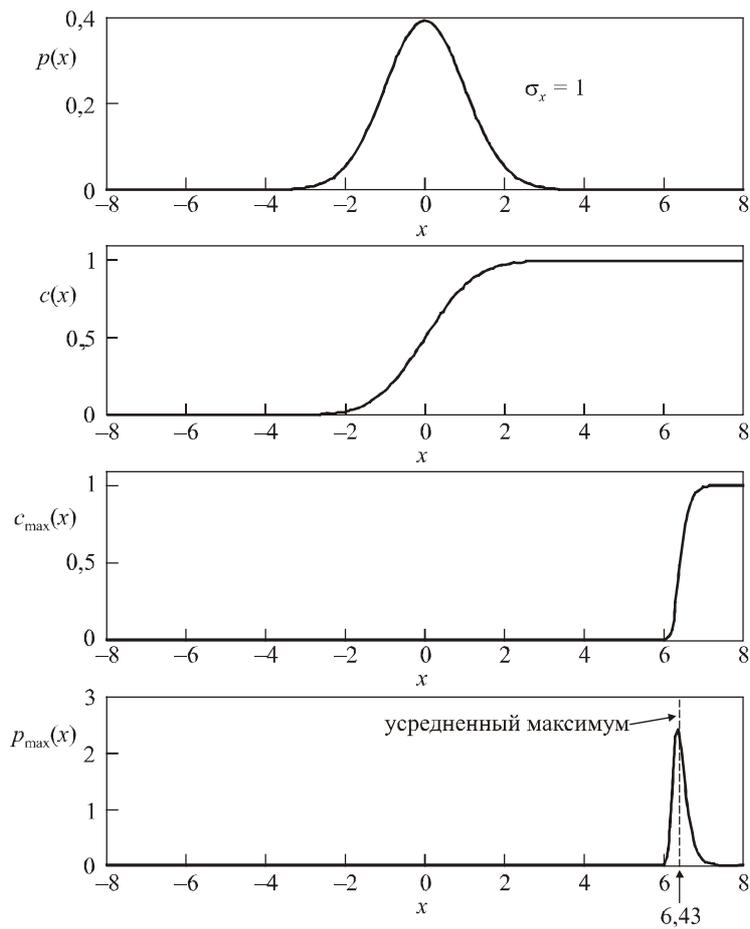
VIII.4 Расчет величины размаха на основании функции распределения вероятностей

На основании функции распределения вероятностей $p(x)$ временной функции x мы хотим найти ожидаемый размах x , зная, что x – почти полностью разлагается в полосе BW. Интервал измерения равен T .

Временная функция x , которая разлагается в полосе BW, имеет около $N = 2 \cdot BW \cdot T$ независимых значений в интервале T . Тогда вероятность не превышения некоторых значений x в течение интервала T – это вероятность того, что N независимых значений не превысят величины x . Но вероятность не превышения x в течение одной попытки – это кумулятивная функция распределения $c(x)$, где $c(x)$ – интеграл от $p(x)$. Тогда вероятность не превышения x в течение N независимых попыток равна $c_{\max}(x) = c(x)^N$. Поскольку это – вероятность того, что максимальное значение не превысит x , $c_{\max}(x)$ является кумулятивной функцией распределения. Тогда функция распределения вероятностей $p_{\max}(x)$ максимального значения является производной от $c_{\max}(x)$. Среднее (или ожидаемое) значение максимума – это интеграл от $x \cdot p_{\max}(x)$ по всем значениям x .

В качестве примера, на рисунке VIII.6 показано три функции для случая Гауссовой $p(x)$ со среднеквадратичным объединением. Если полоса для x равна $BW = 80$ МГц, и интервал измерений $T = 60$ секунд, то $N = 9,6 \cdot 10^9$. Повышение $c(x)$ до этого значения вызывает повышение $c_{\max}(x)$ выше 6. $p_{\max}(x)$ – производная от $c_{\max}(x)$. Зная $p_{\max}(x)$, рассчитаем ожидаемый максимум, равный 6,43.

Аналогично может быть найдено минимальное значение x . В этом симметричном случае, ожидаемый минимум составит $-6,43$, и ожидаемый размах равен 12,86.



O.172_FVIII.6

Рисунок VIII.6/O.172 – Гауссовский пример нахождения ожидаемого максимума x , зная PDF (x)

СЕРИИ РЕКОМЕНДАЦИЙ МСЭ-Т

Серия А	Организация работы МСЭ-Т
Серия D	Общие принципы тарификации
Серия E	Общая эксплуатация сети, телефонная служба, функционирование служб и человеческие факторы
Серия F	Нетелефонные службы электросвязи
Серия G	Системы и среда передачи, цифровые системы и сети
Серия H	Аудиовизуальные и мультимедийные системы
Серия I	Цифровая сеть с интеграцией служб
Серия J	Кабельные сети и передача сигналов телевизионных и звуковых программ и других мультимедийных сигналов
Серия K	Защита от помех
Серия L	Конструкция, прокладка и защита кабелей и других элементов линейно-кабельных сооружений
Серия M	Управление электросвязью, включая СУЭ и техническое обслуживание сетей
Серия N	Техническое обслуживание: международные каналы передачи звуковых и телевизионных программ
Серия O	Требования к измерительной аппаратуре
Серия P	Качество телефонной передачи, телефонные установки, сети местных линий
Серия Q	Коммутация и сигнализация
Серия R	Телеграфная передача
Серия S	Оконечное оборудование для телеграфных служб
Серия T	Оконечное оборудование для телематических служб
Серия U	Телеграфная коммутация
Серия V	Передача данных по телефонной сети
Серия X	Сети передачи данных, взаимосвязь открытых систем и безопасность
Серия Y	Глобальная информационная инфраструктура, аспекты межсетевых протоколов и сети последующих поколений
Серия Z	Языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи