

УДК 004.427.27

В. Н. ФОМИЧЁВ, кандидат технических наук, Л. В. ПРИМАКОВИЧ, студентка, А. А. МИХОЛЕНКО, студент, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Рассматриваются такие параметры цифровых каналов передачи данных как: максимально допустимый джиттер и передаточная характеристика джиттера на входах компонентных трактов. Акцентируется внимание на необходимости измерения джиттера для анализа и улучшения качества передачи данных по цифровым каналам, так как этот параметр может привести к снижению устойчивости работы системы. Рассматриваются примеры влияния джиттера на параметры качества сигналов телекоммуникационных систем Калинковичской дистанции сигнализации и связи.

Переход к цифровым методам передачи и коммутации помимо преимуществ, обусловленных новыми технологиями связи, вызвал множество проблем, связанных с принципами передачи сигналов в цифровом виде. В этой статье мы акцентируем внимание на измерении дрожания фазы, так называемого джиттера [1].

Джиттером, или фазовым дрожанием, называется явление фазовой модуляции принимаемого сигнала. Это кратковременные фазовые отклонения цифрового сигнала от его идеального состояния во времени с частотами выше 10 Гц. Значимой при этом может быть любая удобная и легко определяемая точка сигнала, находящаяся, например, на переднем или заднем фронте импульса. Вторым параметром, тесно связанным с фазовым дрожанием, является дрейф фазы (вандер), который обычно относится к долговременным изменениям фазы сигнала. В качестве примера сравним максимально допустимый джиттер на входах компонентных трактов цифровой аппаратуры ИКМ-120 и мультиплексора FMX. Тестирование производилось при помощи анализатора потоков E1 EST-125 «Acterna» [2].

Рассматривая влияние джиттера на параметры качества передачи сигналов современных телекоммуникаций, необходимо отметить, что оно проявляется следующим образом: снижается пороговый уровень работы системы по шумам, что приводит к появлению битовых ошибок и к значительным нарушениям в структуре цифрового сигнала [1].

Причинами возникновения дрожания фазы являются задержки при передаче цифровых сигналов по каналу связи, а также:

- наличие шумов в каналах вследствие электромагнитных влияний от внешних источников помех (например компьютеров);
- процедуры выравнивания скоростей передачи и приема цифровых потоков (стаффинг битов) и др.

Дрожание фазы в сети передачи может увеличиваться в зависимости от механизма его генерации и преобразования.

В волоконно-оптических системах передачи (ВОСП) встречаются различные типы дрожания фазы [1], а именно:

- случайное дрожание фазы, которое не зависит от передаваемой последовательности и возникает вследствие шумов, создаваемых электронными элементами регенератора;
- детерминированное фазовое дрожание, которое представляет собой последовательность смещений, создаваемых схемой восстановления тактовой частоты.

Детерминированное дрожание фазы также может возникнуть вследствие искажений формы сигнала.

На рисунке 1 показаны две последовательности импульсов: синхронизации (СИ) и тактовые (ТИ). Последовательность ТИ получена устройством выделения тактовой частоты из информационной последовательности и отражает фазовые характеристики последней. Для удобства принято, что в идеале передние фронты импульсов должны совпадать. Несовпадение приводит к появлению фазового сдвига $\Delta\varphi$. Изменение $\Delta\varphi$ во времени можно представить ступенчатой функцией. Эта функция может служить степенью оценки величины фазового дрожания.

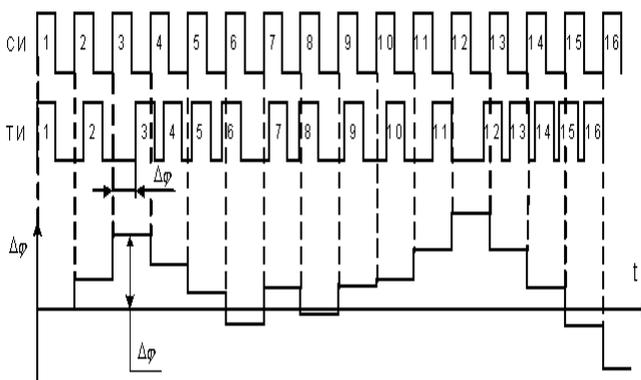


Рисунок 1 – Понятие фазового дрожания

Фазовый сдвиг $\Delta\varphi$ выражают через длительность единичного интервала (ЕИ) – длительность одного бита, который связан со скоростью передачи B как $ЕИ = 1/B$.

Джиттер в цифровом сигнале определяется по параметрам амплитуды и частоты. В общем случае джиттер измеряется в единичных интервалах, а не в единицах абсолютного времени, так как в этом случае результат измерения не зависит от действительной скорости передачи данных, что позволяет осуществить сравнение амплитуды фазового дрожания на различных иерархических уровнях в цифровой системе передачи. При скорости в тракте 2048 кбит/с один единичный интервал будет равен 488 нс. Если соотнести единичный интервал с длиной тактового периода, то он независим от формы импульса двоичного сигнала. Он также не зависит от битовой скорости, так как привязан к тактовому периоду. Это позволяет выполнить прямое сравнение амплитуд джиттера на различных иерархиях цифрового сигнала.

Рассмотрим методологию измерений максимально допустимого джиттера (MTJ – Maximum Tolerable Jitter). Максимально допустимый джиттер представляет собой максимальную величину джиттера, которая не вызывает появления ошибок или аварийных сигналов. На измеряемое оборудование подается тестовый сигнал с внесенным джиттером на определенной частоте. Затем амплитуда вносимого джиттера варьируется, а на выходе тестируемого оборудования измеряется вероятность появления ошибки. Далее делается вывод о максимально допустимом джиттере для данной частоты. Измерения повторяются и на других частотах. В результате получается зависимость максимально допустимого джиттера от частоты для данного тестируемого оборудования, которая и является предметом измерений [1].

Маска допустимых значений определяет минимальную величину джиттера, которую должен обеспечивать приемник. Норма показывает ту область, в которой оборудование должно работать без снижения нормированного показателя ошибок. Тестирование на соответствие норме осуществляется путем установления частоты и амплитуды фазового дрожания по маске с последующим контролем за отсутствием нормированного снижения показателя ошибок.

Измерения проводились на нескольких частотах, по результатам которых получены характеристики максимально допустимого джиттера, который должен быть расположен выше заданной нормативной характеристики, представленной на рисунке 2 в виде маски. Горизонтальная ось диаграммы соответствует диапазону частот от 20 Гц до 100 кГц, вертикальная ось – амплитуде генерируемого джиттера.

На рисунке 2 представлено сравнение максимально допустимого джиттера на входах компонентных трактов ИКМ-120 и мультиплексора FMX, также имеется маска джиттера, сформированная по Рекомендациям МСЭ-Т (Международный союз электросвязи) для каждой частоты измерения. Из рисунка видно, что данные по обеим системам удовлетворяют требованиям МСЭ-Т, однако максимально допустимый джиттер для аппаратуры FMX немного лучше, что позволяет аппаратуре работать с большей надёжностью и меньшим показателем ошибок.

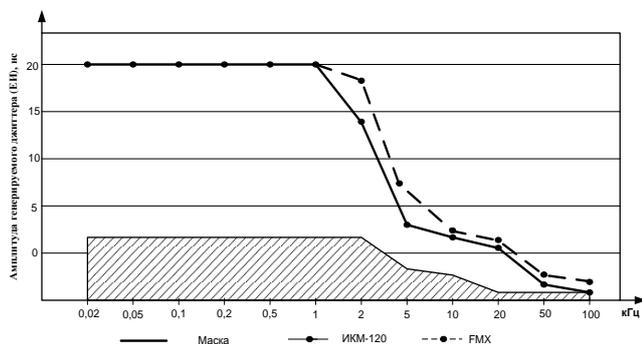


Рисунок 2 – Сравнение графиков максимально допустимого джиттера на входах компонентных трактов мультиплексора FMX и ИКМ-120

Рассмотрим ещё один важный параметр – передаточную характеристику джиттера (JTF – Jitter Transfer Function). На вход приемника подается сигнал с джиттером, а затем измеряется уровень джиттера на выходе. Тем самым можно понять, ослабляет ли устройство

джиттер (JTF тогда отрицательная) или усиливает (JTF-положительная), и в какой мере.

Расчет JTF производится по формуле

$$JTF(f_i) = 20 \cdot \lg \frac{J_{out}(f_i) - J_{in}(f_i)}{J_{in}(f_i)}$$

где $J_{out}(f_i)$, $J_{in}(f_i)$ – значения джиттера, соответственно, на выходе и входе аппаратуры определенной частоты измерения;

Так же как и максимально допустимый джиттер, передаточная характеристика джиттера измеряется на определенных частотах. В качестве примера представим тестирование передаточной характеристики джиттера цифровой аппаратуры ИКМ-120 и мультиплексора FMX. Измерения проводились следующим образом: на вход приемника подаются сигналы различных частот с джиттером постоянной амплитуды, а величина джиттера измеряется на выходе устройства. В отличие от маски максимально допустимого джиттера маска передаточной характеристики джиттера представляет собой зависимость для верхнего и нижнего уровней передаточной характеристики джиттера. Реальная кривая параметра JTF должна располагаться ниже маски, представленной на рисунке 3 [1].

На каждой частоте принятое дрожание фазы сравнивается с известной величиной переданного дрожания, которая представлена в таблице 1. Отношение этих величин отображается в децибелах (рисунок 3), как мощность джиттера.

Таблица 1 – Нормируемые значения, используемые в тесте передачи дрожания

Частота, кГц	A, нс	Частота, кГц	A, нс
0,02	1,00 ЕИ	2	1,00 ЕИ
0,05	1,00 ЕИ	5	0,33 ЕИ
0,1	1,00 ЕИ	10	0,25 ЕИ
0,2	1,00 ЕИ	20	0,17 ЕИ
0,5	1,00 ЕИ	50	0,17 ЕИ
1	1,00 ЕИ	100	0,17 ЕИ

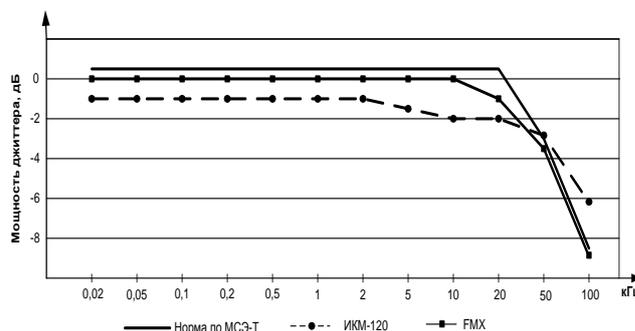


Рисунок 3 – Сравнение графиков передаточной характеристики джиттера цифровой аппаратуры ИКМ-120 и мультиплексора FMX

На рисунке 3 представлена передаточная характеристика дрожания фазы цифровой аппаратуры ИКМ-120 и мультиплексора FMX, также имеется маска параметра JTF, сформированная по рекомендациям МСЭ-Т для каждой частоты измерения.

Из рисунка 3 видно, что данные по FMX удовлетворяют требования МСЭ-Т, а у аппаратуры ИКМ-120 две точки не входят в маску. Можно сделать вывод, что ИКМ-120 работает хуже на высоких частотах, чем FMX. Это обуславливается тем, что мультиплексор FMX работает по оптическому кабелю передачи данных, а ИКМ-120 – по медному.

Таким образом, можно сделать вывод, что такие параметры, как предельно допустимый джиттер и передаточная характеристика джиттера при превышении определенного значения непосредственно влияют на качество передачи информации. Для обоснования необходимости измерений джиттера нужно отметить, что этот параметр имеет большое значение для современных телекоммуникаций, так как джиттер в системе передачи может привести к существенному снижению

устойчивости их работы и увеличению битовых ошибок. Следует заметить, что при измерении джиттера аппаратуры ИКМ-120 в двух случаях были выявлены существенные несоответствия нормам, это доказывает, что использование мультиплексора FMX является наиболее целесообразным, так как при применении данной аппаратуры повышается качество передачи информации.

Список литературы

1 **Бакланов, И. Г.** Методы измерений в системах связи / И. Г. Бакланов / под ред. А. Б. Иванова. – М. : Эко-Трендз, 1999. – 65 с.

2 **Бакланов, И. Г.** Технологии измерений первичной сети / И. Г. Бакланов. – М. : Эко-Трендз. – 2002. – Ч. 1. Системы E1, PDH, SDH – 58 с.

Получено 10.10.2016

V. N. Fomichev, L. V. Prymakovich, A. A. Mikhalenka. Comparative analysis of parameters of digital data transmission systems.

Considered parameters such digital data transmission channels as: the maximum permissible jitter and transfer function jitter on the input component paths. Indicates the need for jitter measurements to analyze and improve the quality of data transmission on the digital channels, as this option may degrade stability operation of the system. Discusses examples of the impact of jitter on the quality parameters of signals of telecommunication systems Kalinkovichi signalling and communication.