



**Н. Н. Леготин, к.т.н.,  
технический директор ООО "АЛТО"**

## Измерение фазовых блужданий

В ряде изданий [7] утверждается, что "по сути своей качественные измерения параметров синхронизации представляют собой измерения частоты и параметров ее стабильности, т.е. представляют собой частотные измерения... являясь принципиально аналоговыми, и для их проведения нет необходимости использовать специализированные анализаторы. Достаточно использование обычного частотомера, синхронизируемого от источника стабильной частоты, например портативного цезиевого стандарта частоты". К настоящему моменту такой взгляд устарел. За последние 5 лет на отечественном рынке измерительной техники появились специализированные сертифицированные в Госстандарте приборы, предназначенные для измерения фазового блуждания (wander). Все руководящие материалы отрасли, существующие в настоящее время и вновь разрабатываемые, требуют проведения измерений только специализированными приборами.

Все представленные в России приборы можно условно разделить на два класса. К первому классу можно отнести приборы, имеющие встроенный компьютер (PJG-2000 - Италия, PJS-2000 - Бельгия, WM-10 (11) - Швеция и ANT-20 - Германия), а ко второму - приборы, имеющие внешний компьютер (ИВО-1М - Россия, OSA-5565 - Швейцария и S.Q.M.P. - Бельгия). Все перечисленные выше приборы (кроме ANT-20) являются специализированными приборами для измерения фазового блуждания, и только в приборе ANT-20 функция измерения фазового блуждания является опционной (BN 3035/90.68 и BN 3035/90.69 или BN 3035/90.82 и BN 3035/90.86 для ANT-20 SE). Учитывая последнее обстоятельство и то, что прибор ANT-20 (ANT-20 SE) не содержит встроенного источника высокостабильной частоты и при использовании опции измерителя фазового блуждания требует применения внешнего цезиевого (FN-GPS/R Standard Frequency) или рубидиевого стандарта (TSR-37), исключим его из дальнейшего рассмотрения.

Все приборы обладают более или менее одинаковыми характеристиками. Технические требования, предъявляемые к измерителям фазовых блужданий, изложены в [1]. В соответствии с этими требованиями входное и выходное сопротивление должно соответствовать значениям, нормируемым для стандартных стыков по Рекомендации МСЭ-Т G.703 [2]. Приборы должны быть рассчитаны на работу при согласованном подключении к электрическим стыкам по [2] и, как правило, к защищенным измерительным точкам и/или иметь высокоомное значение входного сопротивления. При этом в приборах должно обеспечиваться дополнительное усиление входного сигнала

для компенсации затухания стыковой цепи, а для случаев параллельного подключения затухание развязывающего устройства должно превышать значение 20 дБ.

В приборах должны использоваться встроенные или внешние источники опорного сигнала с погрешностью, соответствующей стандарту ETS 300 462 [3] в зависимости от относительной стабильности синхросигнала, для измерения которого предназначены приборы конкретного вида. Максимально допустимая погрешность прибора, в зависимости от времени эксплуатации прибора в межповерочном интервале, должна быть указана в технической документации.

При наличии в приборах функции генерации опорного сигнала тактовой частоты с относительной нестабильностью меньшей, чем  $\pm 4,6 \times 10^{-6}$  номинальное значение частоты опорного сигнала на соответствующих выходах приборов должно соответствовать ряду: 0,1; 1; 2,048; 5; 10 МГц. На выходах 0,1; 1; 5 МГц должен формироваться сигнал синусоидальной или прямоугольной формы размахом не менее 1,5 В на



**Разработка, производство и  
ремонт аппаратуры тактовой  
сетевой синхронизации.  
Аудит сетей ТСС.**

**ООО "АЛТО", Россия**

тел./факс:(812) 327-11-48,(812) 333-03-89  
E-mail:alto@home.ru;http://www/alto-spb.ru

### Измеритель временных отклонений ИВО-1М

Прибор предназначен для измерения параметров нестабильности частот и дрейфа фазы тактовых сигналов в аппаратуре и системах тактовой сетевой синхронизации (ТСС) в цифровых сетях общего пользования в процессе эксплуатации.



### Аппаратура разветвления сигналов синхронизации (АРСС)

АРСС представляет собой выделенное оборудование ТСС и предназначена для применения на узлах первичных сетей с целью обеспечения всего оборудования узла синхросигналами, поступающими по линиям связи от первичных эталонных генераторов (ПЭГ) или вторичных задающих генераторов (ВЗГ).



### Устройство разветвления сигналов синхронизации (УРСС)

УРСС представляет собой оборудование ТСС, предназначенное для распределения сигналов синхронизации на необходимое количество выходов



нагрузке 50 или 75 Ом. На выходах 10 МГц сигнал синусоидальной или прямоугольной формы размахом не менее 1 В на нагрузке 1 кОм. На выходе 2048 кГц - сигнал, отвечающий требованиям раздела 8 ГОСТ 26886 (п. 13 Рекомендации МСЭ-Т G.703), и/или сигнал 2048 Кбит/с, отвечающий требованиям раздела 4 ГОСТ 26886 (п. 9 Рекомендации МСЭ-Т G.703).

При формировании испытательного опорного сигнала прибор должен работать в одном из нескольких режимов синхронизации:

- от собственного тактового генератора;
- от синхронизационных сигналов 2048 кГц или 2048 Кбит/с;
- от внешнего тактового сигнала в виде импульсов прямоугольной формы частотой 5 или 10 МГц с необходимой для измерений допустимой погрешностью по частоте и относительной нестабильности и амплитудой 50 мВ-1 В.

Испытательный опорный сигнал прибора может быть с вводимыми фазовым блужданием и отклонением по частоте или без них. Формирование дрейфа фазы должно предусматриваться в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т O.172 [4] для сигналов ПЦИ и O.171 [5] для сигналов СЦИ. Значения фазового блуждания, формируемого на выходе прибора, и его погрешности должны отражаться в технической документации.

При выполнении функции измерения дрейфа фазы приемная часть приборов должна иметь возможность работать от внешних сигналов тактовой частоты с относительной нестабильностью меньшей, чем  $\pm 4,6 \times 10^{-6}$ . Приборы должны иметь возможность измерять ошибку временного интервала (ОВИ - TIE - Time Interval Error), при этом максимальное время дискретизации  $\tau_0$  (Приложение "А" стандарта ETS 300 462-3), минимальный динамический диапазон, суммарная и дополнительная погрешность измерения ОВИ должны быть равны или меньше требований ОСТ 45.134-99 [6] и Рекомендации МСЭ-Т O.172.

В Приложении "А" стандарта ETS 300 462-3 указано, что максимальное время дискретизации  $\tau_0$  и частота среза измерительного фильтра нижних частот ( $f_c$ ), устанавливаемая в приборах для измерения фазовых блужданий, должны удовлетворять соотношению  $\tau_0 = \tau_{\min}/3$  и  $f_c = 1/\tau_{\min}$  Гц. Откуда следует, что если использовать измерительный фильтр нижних частот первого порядка с эквивалентной полосой 10 Гц, то максимальное время дискретизации  $\tau_0$  должно быть не более 1/30 с. Как правило, это время соответ-

ствует 0,03 с. Если используется входной фильтр с частотой среза 0,1 Гц, то максимальное время дискретизации не должно превышать 3,3 с.

В соответствии с ОСТ 45.134-99 минимальный динамический диапазон измерения ОВИ, должен быть не менее  $1 \times 10^9$  нс (что соответствует возможности измерения входного сигнала со сдвигом частоты  $4,6 \times 10^{-6}$  за время 55 ч).

В соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т O.172 прибор должен обеспечить измерение ОВИ тактовых синхросигналов с погрешностью измерения в течение интервала наблюдения не более 5 % от измеряемого значения ОВИ  $Z_0(\tau)$ , где  $Z_0(\tau)$  - систематическая погрешность, значение которой рассчитывается по табл. 1 в зависимости от интервала наблюдения  $\tau$ .

В приборах должна быть обеспечена возможность вычисления максимальной ошибки временного интервала (МОВИ, MTIE) и девиации временного интервала (ДВИ, TDEV) в соответствии с требованиями ОСТ 45.134 и Рекомендацией O.172 по математическим выражениям, приведенным в стандарте ETS 300 462-1.

Значения ОВИ должны отображаться на экране монитора в реальном времени, а вычисленные значения МОВИ, ДВИ и  $\Delta f / \Delta f_{\text{н}}$  должны отображаться на экране монитора в логарифмическом масштабе по обеим осям.

Прибор должен обеспечивать сравнения измеренных значений ОВИ и вычисленных характеристик МОВИ и ДВИ с масками (шаблонами) Рекомендаций МСЭ-Т: G.811-G.813, G.823, стандартов ETS 300 462 (3-7) и Руководств и руководящих материалов Минсвязи России. Должен позволять корректировать и разрабатывать новые маски.

Прибор должен позволять вводить комментарии к сеансам измерений, автоматически выставлять число и время проведения измерений и сохранять результаты измерений на файловых и бумажных носителях информации.

Прибор должен в ручном или автоматическом режиме осуществлять подстройку частоты встроенного источника стабильной частоты. Пределы перестройки частоты встроенного источника стабильной частоты должны быть указаны в документации. В табл. 2 даны сравнительные характеристики приборов, представленных на российском рынке.

Среди рассматриваемых приборов для каждого имеются присущие только ему особенности.

– Для PJS-2000 - измеряемые сигналы в виде цифровой последовательности STM-1 (155 Мбит/с) (опционно) и разрешающая способность (10 пс).

– Для WM-10 (11) - до 14 видов измеряемых сигналов (все нормирование фазового блуждания происходит на частоте 2048 кГц или для сигнала 2048 Кбит/с), диапазон перестройки ( $\pm 1 \times 10^{-9}$ ) и встроенный Ethernet.

– Для ИВО-1М - измерение ОВИ с любой выборкой, кратной 0,005 с, и с любым временем измерения, кратным 1 с. Формирование эталонных сигналов

Таблица 1

### Систематическая погрешность ( $Z_0$ ) измерения TIE

$Z_0(\tau)$ , нс	Интервал наблюдения, $\tau$ , с
$2,5 + 0,0275 \tau$	$0,05 \leq \tau \leq 1000$
$29 + 0,001 \tau$	$\tau > 1000$

Таблица 2

## Сравнительные характеристики приборов, предназначенных для измерения фазового дрожания

№ пп	Прибор	PJG-2000, Италия; (PJS-2000 Бельгия)	WM-10, WM-11, Швеция	ИВО-1М, Россия	OSA-5565, Швейцария	S.Q.M.P. GILLAM-FEI, Бельгия
1	Виды измеряемых сигналов:					
1.1	Сигнал 2048 кГц (G.703/13)	75/120 Ом	75 Ом	75/120 Ом	75 Ом	75/120 Ом
1.2	Цифровой структурированный или неструктурированный поток 2048 Кбит/с (G.703/9)	75 Ом	75 Ом	75/120 Ом	75 Ом	75 Ом
1.3	Синусоидальный сигнал, МГц	5	1; 5; 10; 2,048 14 разных	5; 10; 2,048	10	5 и 2048
1.4	Цифровой поток 155 Мбит/с (STM-1)	Да, опция	—	—	—	—
2	Используемые эталонные сигналы:					
2.1	2048 кГц в соответствии с G.703	+	+	Нет	+	+
2.2	2048 Кбит/с в соответствии с G.703, симметричный 120 Ом	+	Нет	Нет	+	+
2.3	Синусоидальный сигнал, МГц	5	10	5; 10	10	5
2.4	Сигнал внешнего приемника GPS	+	Нет	+	+	+
2.5	Эталонные сигналы на выходе прибора	2048 кГц/Кбит, 10 МГц	2048 кГц/Кбит	2048 кГц/Кбит на нагрузке 75/120 Ом, 5 и 10 МГц	2048 кГц, 10 МГц	2048 кГц на нагрузке 75/120 Ом (Кбит/с – опция), 5 МГц
3	Характеристики встроенного эталона:					
3.1	Стабильность при самостоятельном использовании	$\pm 5 \cdot 10^{-11}$ в месяц	$\pm 5 \cdot 10^{-11}$ в месяц	$\pm 1 \cdot 10^{-11}$ в месяц	$\pm 4 \cdot 10^{-11}$ в месяц	$\pm 5 \cdot 10^{-11}$ за 15 дней
3.2	Стабильность при привязке по GPS, ГЛОНАСС/GPS	$\pm 2 \cdot 10^{-11}$ за 48 ч	$3 \cdot 10^{-12}$ за 24 ч	$\pm 2 \cdot 10^{-11}$ за 2 ч, $\pm 3 \cdot 10^{-12}$ за 6 ч, $\pm 5 \cdot 10^{-13}$ за сутки	$\pm 3 \cdot 10^{-12}$ за 24 ч	$\pm 1,16 \cdot 10^{-12}$ за 24 ч
3.3	Диапазон перестройки	$\pm 1,5 \cdot 10^{-9}$	$\pm 1 \cdot 10^{-9}$	$\pm 2 \cdot 10^{-9}$	$\pm 2 \cdot 10^{-9}$	$\pm 1,25 \cdot 10^{-9}$
3.4	Разрешающая способность по ОВИ, пс	10	50	100	100	10
4	Характеристики измерения:					
4.1	Наличие входного фильтра, Гц	10	10 и 0,1	10 и 0,1	Неизвестно	Неизвестно
4.2	Возможные выборки ОВИ, с	0,03	1; 0,2 за 24 ч; 1/30 при внешней ЭВМ	Любая от 0,005 с шагом 0,005 с	0,03 и кратные	Любая от 0,03 с шагом 0,03 с
4.3	Время измерения, ч	Неизвестно	2; 24; 0,5; 2; 4	Любое с шагом 1 с (ч, мин, с)	Число фиксирован ных выборок	10 с – 62 дня
4.4	Измерение ОВИ, МОВИ, ДВИ, $\Delta/f$	+	+	+	+	+
4.5	Маски	Неизвестно	4? 4, ETS 300 462 (1–7)	G.811–813. G.823 ETS 300 462 (1–7).	G.811–813	G.811–813 ETS 300 462n

Дополнительные возможности:						
5.1	Измерения параметров качества передачи сети, коэффициентов ошибок BER, ES, SES, а также возможность анализа дополнительных сообщений SSM (Synchronization Status Messages)	Да	–	AIS.SSM и еще ряд, включая время пропадания СС	–	–
5.2	Модуль, позволяющий одновременную генерацию и анализ цифрового потока 155 Мбит/с (STM-1)	Да	–	–	–	–
5.3	Плата для компенсации затухания (до 30 дБ)	+	–	Высокоомное подключение	–	–
5.4	Модуль удаленного доступа для дистанционного управления и контроля	+	Ethernet	–	–	–
5.5	Возможность имитации фазовых искажений в испытательном сигнале	–	–	F = 1 – 10 <sup>-8</sup> Гц, A = 10 – 10 <sup>-5</sup> нс, 2048 кГц (Кбит/с) ±1·10 <sup>-5</sup> с шагом ±1·10 <sup>-13</sup> SSM, CRC-4 ПСП, 0,1, чередование 0 и 1	–	Опция, дополнительный модуль. Параметры неизвестны
5.6	Повышенная устойчивость к магнитному полю Земли	+	–	+	–	+
5.7	Наличие эмулятора обмена	–	–	Да		
5.8	Наличие адаптеров для подключения к объекту			Да		

на выходе прибора (2048 кГц, 2048 Кбит/с, 5 и 10 МГц). Относительная нестабильность встроенного рубидиевого генератора ( $\pm 1 \times 10^{-11}$  в месяц). Относительная нестабильность при привязке к GPS ( $\pm 2 \cdot 10^{-11}$  за 2 ч,  $\pm 3 \times 10^{-12}$  за 6 ч,  $\pm 5 \times 10^{-13}$  за сутки). Возможность имитации фазовых искажений в трех формируемых испытательных сигналах (по отклонению частоты до  $\pm 1 \times 10^{-5}$  с шагом  $\pm 1 \times 10^{-13}$ , по амплитуде синусоидальной модуляции от 10 до  $1 \times 10^6$  нс с частотой от 10 до  $1 \times 10^{-8}$  Гц. Встроены маски G.811-G.813, G.823, ETS 300 462 (3-7) и по РД на Аудит, Присоединение, Использование коммутационных станций. Электронная лупа с заданием численно и мышью с разрешением до 1 с x 1 нс и динамическая лупа с плавным изменением масштабирования и выводом параметра  $\Delta f/f$  на выделенном участке. Возможность прокрутки всех файлов в папке без их непосредственной загрузки. Возможность вывода на экран одновременно до 6 файлов со своими цветами и до 18 масок, представленные ОВИ, МОВИ и ДВИ на 1 листе для отчета.

– Для OSA5565 - задание времени измерения через количество выборок, сильная зависимость относительной нестабильности встроенного рубидиевого генератора от магнитного поля.

– Для S.Q.M.P. - время измерения от 10 с до 62 дней с любой выборкой, кратной 0,03 с.

Весьма существенным является наличие, как в приборе ИВО-1М, имитатора. В ряде приборов S.Q.M.P. и ANT-20 SE эта функция (в меньшем объеме) присутствует опционально, в то время как в ИВО-1М она входит в постоянную комплектацию. Без использования имитатора, не применяя дополнительного оборудования, невозможно провести приемочные и сертификационные испытания (о чем будет рассказано ниже) оборудования тактовой сетевой синхронизации (ТСС). ИВО-1М содержит еще одну полезную программную функцию: эмулятор обмена. С его помощью, без участия прибора, чисто программными методами можно формировать и соответственно измерять тактовые последовательности с заданным отклонением по частоте и фазе в реальном и ускоренном режимах. Что позволяет, например, весь-



ма быстро подобрать требуемую величину ДВИ для тестового сигнала и проводить обучение персонала.

Рассмотрим вопросы проверки аппаратуры по параметрам ТСС более подробно.

Несмотря на то что по вопросам измерений параметров сети ТСС опубликовано уже много работ [7, 12-13] и выпущены нормативные документы [8-11], практика показывает, что сотрудники операторов связи и органов надзора недостаточно подготовлены к проведению специфических измерений, связанных с параметрами ТСС. Попробуем осветить этот вопрос более подробно.

Все измерения, проводимые при приемке оборудования и аудите систем ТСС, можно разбить на несколько разных простых видов измерений:

- паспортизацию подключения сети оператора связи к базовой сети;
- проведение измерений параметров ТСС в оборудовании, установленном на сети ТСС: паспортизацию блоков сетевой синхронизации (БСС) междугородних и международных коммутационных станций, паспортизацию ВЗГ и ПЭГ;
- аудит сети ТСС: первичный, периодический и внеплановый.

При проведении любых измерений требуется первоначальная конфигурация прибора. При конфигурировании необходимо установить тип входного сигнала, входное сопротивление, величину выборки и время измерения. Выбор типа входного сигнала (как правило, 2048 кГц или 2048 Кбит/с - E1) и входного сопротивления (75 или 120 Ом, в редких случаях высокоомного) обычно не вызывает сомнений, так как изначально задан. Возникает вопрос: с какой выборкой и в течение какого времени проводить измерения?

В соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т O.172, G.810 и Обязательным приложением А стандарта ETS 300 462-3 прежде чем тестируемый сигнал попадет на измерения, он должен пройти через идеальный фильтр нижних частот первого порядка. Чтобы быть уверенным в том, что установленный на входе прибора фильтр нижних частот вносит погрешность измерения за счет несоответствия параметров фильтра мерцающему фазовому шуму менее 8 % по отношению к идеальному фильтру нижних частот первого порядка, необходимо проверить характеристики сглаживающего фильтра:

- амплитуду неравномерности в полосе пропускания  $\pm 0,2$  дБ (за исключением коэффициентов постоянного усиления);

- частоту среза на уровне 3 дБ, которая должна быть равна 10 Гц  $\pm 15$  %.

Рассмотрим подробнее вопрос обоснования величины выборки. Как правило, в Рекомендациях МСЭ-Т G.811-G.813, G.823 и стандартах ETS 300 462 (3-7) указывается выборка 0,03 с (значение величины ОВИ формируются 1 раз за 0,03 с). С чем это связано? Посмотрим, искажает ли величина выборки результаты измерений или нет.

Подадим на вход прибора синхросигнал 2048 кГц, модулированный частотой 1 Гц с амплитудой 375

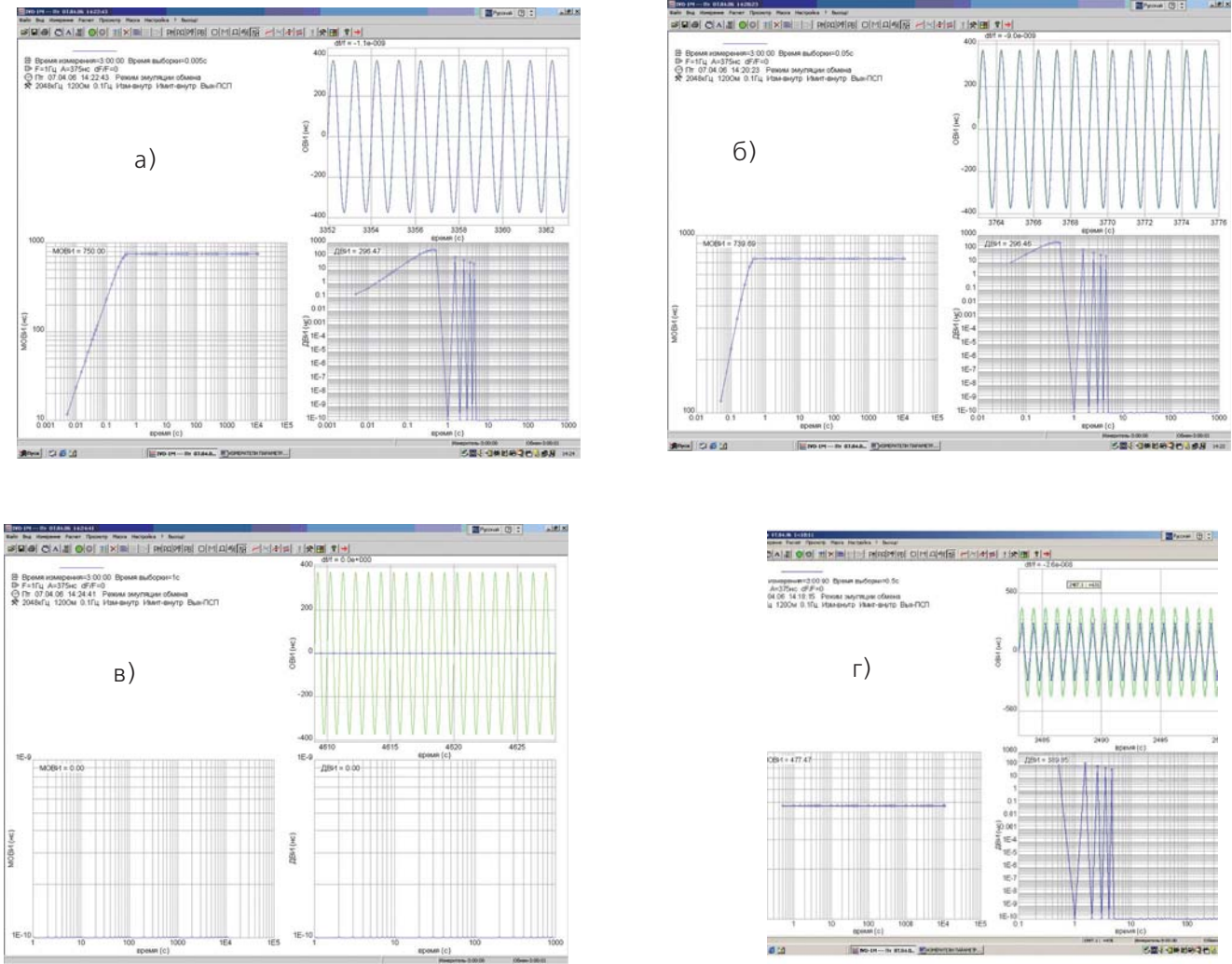
нс - это предельно допустимое по амплитуде колебание для ВЗГ при проверке устойчивости к входному дрейфу фазы на частоте 1 Гц (рис. 1, а). Видно, что при выборке 0,005 с МОВИ составляет 750 нс (размах двойной амплитуды), а ДВИ составляет 296,47 нс за время менее 1 с, а за время более 5 с принимает практически нулевые значения. Начало отсчета и МОВИ, и ДВИ соответствует 0,005 с.

Увеличим выборку в 10 раз, т.е. выберем ее равной 0,05 с (рис. 1, б). Видим, что МОВИ стало 739,69 (вместо 750), ДВИ практически сохранилось, а начало отсчета соответствует 0,05 с.

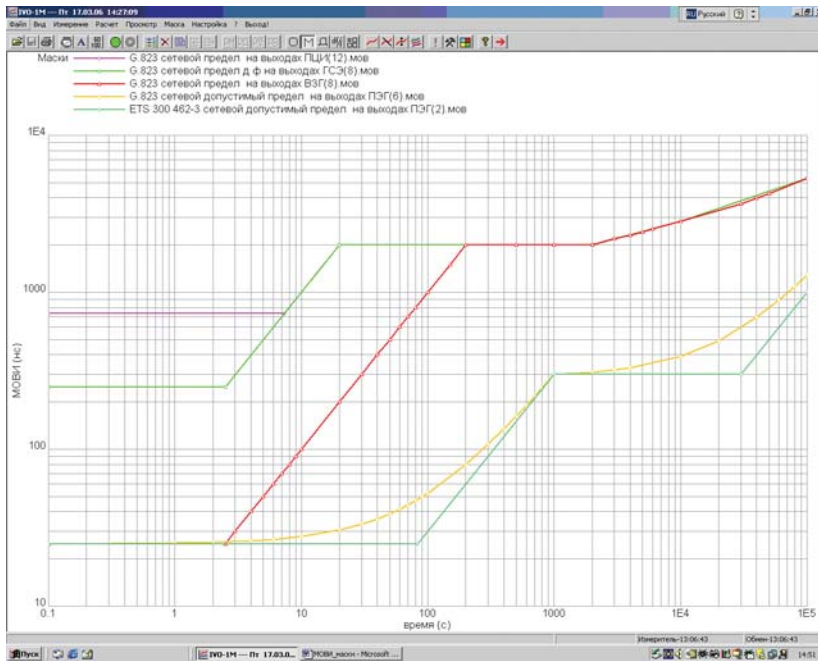
Увеличим выборку в 10 раз, т.е. выберем ее равной 0,5 с (рис. 1, в). Видим, что МОВИ стало 477,47 (вместо 750), ДВИ стало 389,85 вместо 296,46, а начало отсчета соответствует 0,5 с.

Увеличим выборку еще в 2 раза, т.е. выберем ее равной 1 с (рис. 1, г). Видим, что МОВИ стало равно 0 (вместо 750), ДВИ стало равно 0 вместо 296,46, а начало отсчета соответствует 1 с. Как следует из представленных примеров, величина выборки существенно влияет на результаты измерений. В первых двух случаях получен результат измерения, полностью соответствующий тому, что подано на вход прибора. В третьем случае результат уже существенно искажен, наконец, в последнем случае прибор вообще не отображает наличие весьма существенного фазового дрожания, которое имеется на измерительном входе. При этом если массив данных в последнем случае принять за 1, то в предыдущем случае величина массива увеличится в 2 раза, а в первоначальном измерении увеличение составит 200 раз. Вот этого увеличения массива данных и соответственно времени расчета МОВИ и ДВИ и стремятся избежать, устанавливая выборку более 0,03 с. В большинстве случаев в Рекомендациях МСЭ-Т и стандартах ETSI рекомендуется выборка 0,03 с, что, как видно из показанных примеров, приводит к достоверному отображению результатов измерений. Выборку более 0,03 с допустимо использовать только в том случае, если отображение параметра ДВИ не требуется, а время проведения измерений превышает 4 ч. Аналогичный результат измерения ОВИ получим, если используем входной фильтр 0,1 Гц вместо установленного входного фильтра 10 Гц, показанного на рис.1 в примерах.

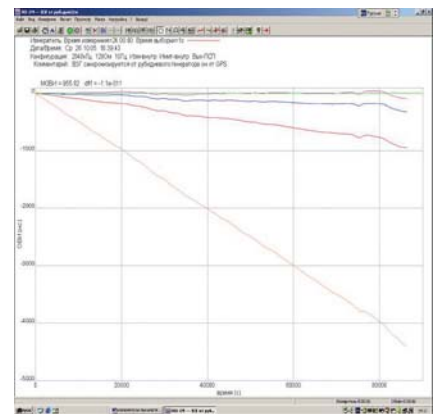
Если время измерения мало, то результат может быть искажен: он либо завышает, либо занижает параметры ТСС. Теоретические расчеты и практика измерений показывают, что для проведения измерений на выходе T4 мультиплексоров достаточно иметь время измерения от 20 мин до 1 ч. На выходе ВЗГ и коммутационных станций достаточно проводить измерения в течение 4 ч. При проведении измерений в режиме удержания (holdover) необходимо устанавливать время измерения 24 ч, а при переключениях внешних синхросигналов и внутренних генераторов достаточно измерять буквально несколько минут. Важно проводить эти измерения именно в момент совершения переключения. Для измерений, проводимых при переключениях входных синхросигналов на сети ТСС,



**Рис. 1. Влияние параметра "выборка" ( $\tau_0$ ) на результаты измерений ОВИ, МОВИ и ДВИ:**  
 а)  $\tau_0 = 0,005$ ; б)  $\tau_0 = 0,05$ ; в)  $\tau_0 = 0,5$ ; г)  $\tau_0 = 1$



**Рис. 2. Маски (шаблоны) сетевых пределов МОВИ на выходах оборудования**



**Рис. 3. Измерение ОВИ с различным систематическим дрейфом частоты генератора измерительного прибора**

необходимо измерять ОВИ за время не менее 20 мин, так как по существующим нормам появление альтернативного синхросигнала (СС) (при потере основного) допускается не позже чем через 15 мин (для эталонной сети).

Рассмотрим сопоставление результатов измерения с масками (шаблонами) для МОВИ и ДВИ.

Как видно из рис. 2, маски МОВИ для сетевых пределов на выходе оборудования совпадают для каждого вида оборудования независимо от того, Рекомендация ли это МСЭ-Т G.823 или стандарт ETS 300 462. Исключением является маска сетевого допустимого предела на выходе ПЭГ, которая несколько различна для Рекомендации МСЭ-Т G.823 и стандарта ETS 300 462-3. При измерениях обычно задается вопрос: а что делать, если измерения уложились между этими двумя масками? Данные шаблоны рассчитаны как предельные для последнего элемента в эталонной сети, и поэтому величина МОВИ ни одного из элементов внутри сети оператора связи (кроме последнего) не может даже близко подходить к данным маскам. Если при измерениях на оборудовании сети был определен близкий подход величины МОВИ к маскам, необходимо выявить то оборудование в сети оператора связи, которое вызывает появление такого предельного значения МОВИ, исправить обнаруженные неполадки и провести повторное измерение в проблемной точке сети. Наклоны приведенных шаблонов соответствуют:  $1 \times 10^{-11}$  и  $3 \times 10^{-10}$  отн.ед. для ПЭГ,  $1 \times 10^{-8}$  отн.ед. для ВЗГ или БСС МЦК (блока сетевой синхронизации международной коммутационной станции) и  $1 \times 10^{-7}$  отн.ед. генератора сетевого элемента (ГСЭ - SEC мультиплексора) или для оборудования, установленного на сетях плезеохронной цифровой иерархии (ПЦИ - SDH).

У встроенных в приборы рубидиевых стандартов значение частоты, как правило, не совпадает с номиналом. Это связано с тем, что имеется некое отклонение частоты за счет старения, изменения частоты от включения к включению, изменения температуры, пи-

тающего напряжения и ряда других факторов. До какой величины относительной нестабильности может доходить значение частоты рубидиевого генератора, встроенного в прибор, чтобы результаты измерений, проведенные таким прибором, не привели к ошибочным выводам о состоянии исследуемой аппаратуры или исследуемой сети ТСС?

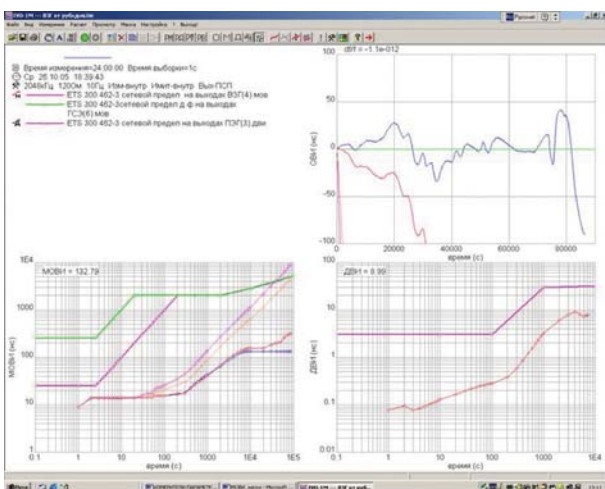
На рис. 3 представлены четыре абсолютно идентичные измерения со временем измерения 24 ч и выборкой 1 с (измерение на выходе Т4 у ВЗГ в режиме удержания частоты при потере всех входных синхросигналов). В первом случае отклонение рубидиевого генератора прибора составляло  $1 \times 10^{-12}$  отн.ед., во втором -  $3,7 \times 10^{-12}$  отн.ед., в третьем -  $5 \times 10^{-11}$  отн.ед., в четвертом -  $1 \times 10^{-10}$  отн.ед.

На рис. 3 измеренное значение ОВИ представлено в реальном масштабе для всех четырех графиков, а на рис. 4 график ОВИ, измеренный с минимальным дрейфом частоты генератора прибора ( $1 \times 10^{-12}$ ) представлен в реальном масштабе, а остальные не укладываются в выбранный масштаб. Вместе с тем параметры МОВИ и ДВИ сопоставимы, так как они даются в логарифмическом масштабе. Если рассматривать график ОВИ в полномасштабном исполнении (рис. 3), то видно, что информативность графика ОВИ в таком масштабе мала.

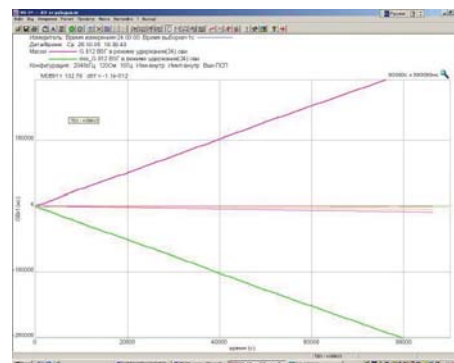
График ДВИ для всех четырех случаев одинаков, следовательно, величина ДВИ не зависит от систематического дрейфа частоты генератора прибора (как и от систематического дрейфа самого сигнала).

На графики МОВИ и ДВИ (рис. 4) наложены маски (шаблоны) для сетевого предела генератора мультиплексора и ВЗГ (МОВИ) и сетевого предела на выходе ПЭГ (ДВИ). Видно, что в случаях большого отклонения генератора прибора ( $1 \times 10^{-10}$ ) маска МОВИ будет пересечена через 10 ч измерений.

Для проведения измерений на мультиплексоре рекомендованное время измерения составляет от 20 мин до 1 ч. Для ВЗГ рекомендованное время измере-



**Рис. 4. Измерение ОВИ, МОВИ и ДВИ при систематическом дрейфе рубидиевого генератора прибора: от  $1 \times 10^{-10}$  до  $1 \times 10^{-12}$**



**Рис. 5. Режим удержания при разном систематическом дрейфе рубидиевого генератора прибора от  $1 \times 10^{-10}$  до  $1 \times 10^{-12}$**



ния составляет 4 ч (14400 с). За это время даже при уходе генератора прибора на величину  $1 \times 10^{-10}$  результаты измерений (при нормальной работе мультиплексора и ВЗГ) никогда не пересекут маску. Если измерять ОВИ в режиме удержания у ВЗГ (holdover), длительность измерения при котором составляет 24 ч, то отклонение генератора прибора даже на  $1 \times 10^{-10}$  не приводит к пересечению масок ОВИ в режиме удержания, как это и показано на рис. 5. Однако как уже отмечалось выше, информативность графика ОВИ в этих случаях мала, и чтобы рассмотреть отдельные моменты, необходимо пользоваться "электронной лупой".

Если в процессе измерений будет скачок по фазе на выходе оборудования, то тогда, действительно, характеристика МОВИ пересечет установленные пределы, как это показано ниже. На рис. 6 представлены три идентичные измерения, в двух из которых имеются скачки фазы, а в третьем скачки фазы удалены, но оставлен систематический дрейф частоты на величину  $4 \times 10^{-11}$ . Как видно из расчета графиков МОВИ, характеристики в обоих случаях со скачками примерно одинаковы независимо от того, в какой момент происходит скачок. Скачок в характеристике МОВИ переносится в начало координат. В данном случае длительность скачка определяется от 0,03 до 0,7 с, а величина - примерно 500 нс, это хорошо видно на графике ОВИ.

На рис. 5 представлены четыре варианта измерений выхода ВЗГ в режиме удержания. Представлены две маски из Рекомендации МСЭ-Т G.812 "ВЗГ в режиме удержания" для положительных и отрицательных значений графика ОВИ. Показано, что при нормальном режиме удержания, измеренного с относительной нестабильностью частоты рубидиевого стандарта прибора в диапазоне от  $1 \times 10^{-10}$  до  $1 \times 10^{-12}$  отн.ед., ре-

зультаты измерения укладываются в установленные маски.

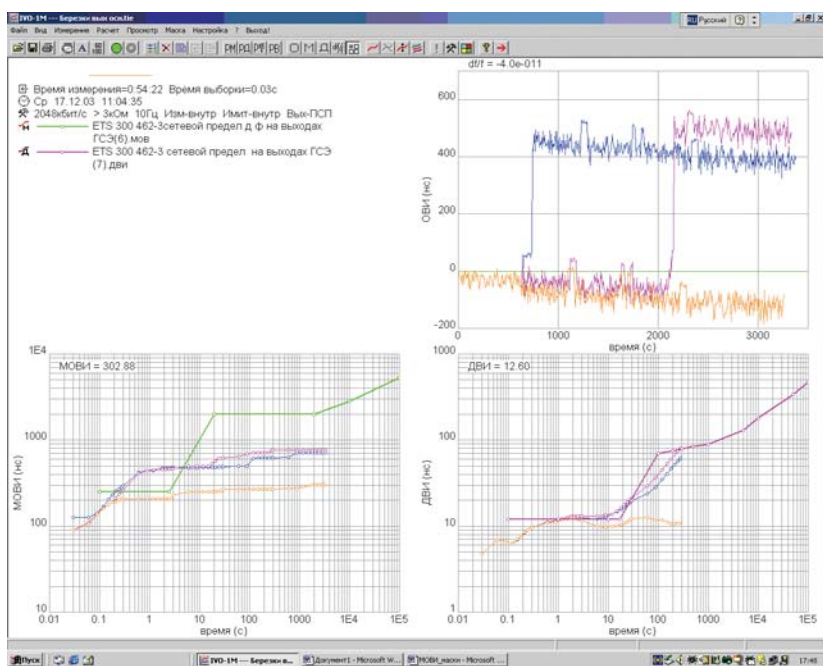
Общий подъем примерно на 100 нс обусловлен мелкими частыми изменениями фазы (за 0,03-0,1 с) с величиной порядка 100 нс. Характеристика, которая укладывается в маску, значительных изменений фазы не имеет. Как видно из характеристик ДВИ, скачки существенно влияют и на величину ДВИ.

Следовательно, если использовать измерительный прибор, у которого за межповерочный интервал (как правило, 1 год) из-за всех дестабилизирующих факторов накапливается дрейф частоты до  $1 \times 10^{-10}$ , то таким прибором можно за ограниченное время проводить достоверные измерения любого оборудования, кроме ПЭГ. При измерениях, связанных с ПЭГ, относительная нестабильность у генератора прибора должна быть не более  $5 \times 10^{-12}$ , так как долговременная нестабильность ПЭГ (от 1 до 7 суток) должна быть менее  $1 \times 10^{-11}$  за любое время измерения, превышающее несколько часов.

*Продолжение читайте в следующем номере журнала.*

### Литература

1. РД 45.237-2002: "Измерители показателей ошибок и параметров дрожания и дрейфа фазы цифровых трактов". М.: Минсвязи России.
2. Рекомендация МСЭ-Т G.703: "Физические/электрические характеристики иерархических цифровых стыков". 1998, октябрь.
3. Европейский стандарт электросвязи ETS 300 462(1-7): Передача и мультиплексирование (ТМ). Общие требования для сетей синхронизации, 1999-2000 гг.
4. Рекомендация МСЭ-Т O.171: "Аппаратура для измерения дрожания и дрейфа фазы сигналов тактовой синхронизации в цифровых системах, основанных на плезеохронной цифровой иерархии (ПЦИ)". 1997, апрель.
5. Рекомендация МСЭ-Т O.172: "Аппаратура для измерения дрожания и дрейфа фазы сигналов тактовой синхронизации в цифровых системах, основанных на синхронной цифровой иерархии (СЦИ)". 1999, март.
6. ОСТ 45.134-99: "Приборы для измерения дрожания и дрейфа фазы в цифровых сигналах электросвязи. Технические требования. Методы испытаний".
7. Бакланов И.Г. Технологии измерений первичной сети. Ч. 2. Системы синхронизации. М.: Изд-во ЭКО-ТРЕНДЗ, 2000.
8. Р 45.09-2001: "Присоединение сетей операторов связи к базовой сети тактовой сетевой синхронизации". М.: Минсвязи России.
9. РД 45.230-2001: "Аудит системы тактовой сетевой синхронизации. Организационное обеспечение. Методика проведения". М.: Минсвязи России.
10. Р 45.08-2001: "Использование международных и междугородних коммутационных станций в системе ТСС ВСС России". М.: Минсвязи России.
11. Р 45.12-2001: "Эксплуатация первичных эталонных генераторов на Взаимоуязненной сети связи Российской Федерации". М.: Минсвязи России.
12. Давыдкин П.Н., Колтунов М.Н., Рыжков А.В. Тактовая сетевая синхронизация / Под ред. М.Н. Колтунова. М.: Изд-во ЭКО-ТРЕНДЗ, 2001.
13. Брени Стефано. Синхронизация цифровых сетей связи / Пер. под ред. А.В. Рыжкова. М.: Изд-во Мир, 2003.



**Рис. 6. Режим измерения ОВИ, МОВИ и ДВИ при наличии скачков фазы в исследуемом сигнале**