

# Технологии и средства измерений

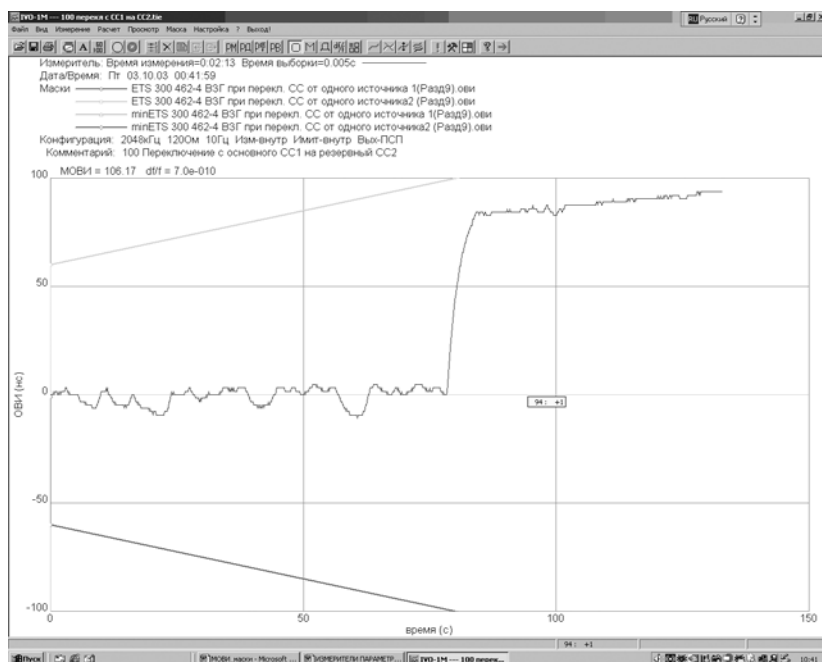


**Н. Н. Леготин**  
технический директор ООО "АЛТО", к.т.н.

## Измерение фазовых блужданий

Рассмотрим выполнение измерений при режиме удержания более подробно. Как правило, режим удержания следует после принудительного (программного или физического) отключения всех поступающих на вход оборудования синхросигналов. Следовательно, при измерениях первоначально происходит измерение в режиме синхронизма от приходящего внешнего синхросигнала, а затем происходит переход в режим удержания. При переходе в режим удержания допускается скачок по фазе, величина которо-

го нормирована и различна для разного рода оборудования. Таким образом, на характеристике ошибки временного интервала (ОВИ) имеется участок работы оборудования в режиме синхронизма, потом возможен скачок, но у современной качественной аппаратуры он, как правило, либо отсутствует, либо его величина составляет несколько наносекунд (для ВЗГ, МЗГ, БСС допуск на скачок установлен в 60 нс, а для ГСЭ - 120 нс). Если есть скачок, то график ОВИ в режиме удержания необходимо переместить в начало координат, т.е. в точку: максимальная ошибка временного интервала (МОВИ) равна нулю, время измерения равно нулю. Такое перемещение возможно только при "программном" удалении части графика ОВИ от начала измерения до начала скачка. Если учесть, что нормируется не только величина скачка, но и его длительность, то такая операция становится необходимой, и прибор должен предоставлять возможность удаления части графика программными средствами. Удалять часть графика лучше всего с использованием механизма "электронная лупа". После того как график ОВИ, полученный при измерении режима удержания, перемещен в начало координат, необходимо открыть маски для соответствующего оборудования, находящегося в режиме удержания, и проверить: пересекает полученная характеристика маску режима удержания или нет. Как отмечалось ранее [1], для ГСЭ (SEC - генератора сетевого элемента, ге-



**Рис. 1. График ОВИ при переключении синхросигналов на входе оборудования**

го нормирована и различна для разного рода оборудования. Таким образом, на характеристике ошибки временного интервала (ОВИ) имеется участок работы оборудования в режиме синхронизма, потом возможен скачок, но у современной качественной аппаратуры он, как правило, либо отсутствует, либо его величина составляет несколько наносекунд (для ВЗГ, МЗГ, БСС допуск на скачок установлен в 60 нс, а для ГСЭ - 120 нс). Если есть скачок, то график ОВИ в режиме удержания необходимо переместить в начало координат, т.е. в точку: максимальная ошибка временного интервала (МОВИ) равна нулю, время измерения равно нулю. Такое перемещение возможно только при "программном" удалении части графика ОВИ от начала измерения до начала скачка. Если учесть, что нормируется не только величина скачка, но и его длительность, то такая операция становится необходимой, и прибор должен предоставлять возможность удаления части графика программными средствами. Удалять часть графика лучше всего с использованием механизма "электронная лупа". После того как график ОВИ, полученный при измерении режима удержания, перемещен в начало координат, необходимо открыть маски для соответствующего оборудования, находящегося в режиме удержания, и проверить: пересекает полученная характеристика маску режима удержания или нет. Как отмечалось ранее [1], для ГСЭ (SEC - генератора сетевого элемента, ге-

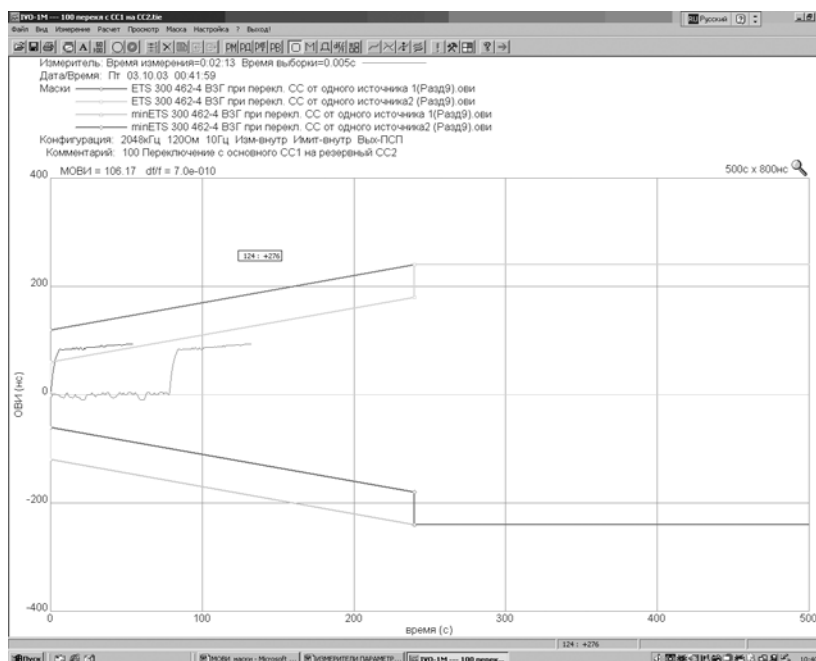
нератора мультиплексора) режим удержания нормирован не по параметру ОВИ, а по МОВИ [2], правда, в [3] режим нормирован и по ОВИ. В случае [2] нет необходимости вырезать часть характеристики ОВИ, так как если появится скачок при переходе в режим удержания, то он автоматически переместится в начало координат после расчета МОВИ.

При проведении измерений, связанных с переключением входных синхросигналов или внутренних генераторов оборудования, необходимо пользоваться, во-первых, масками для соответствующего оборудования и, во-вторых, иметь в виду, что при использовании оборудования на сети ТСС допускается несколько скачков: первый скачок может происходить, когда исчезает входной синхросигнал и оборудование переходит в режим удержания, второй скачок может происходить, когда оборудование из режима удержания переходит в режим синхронизма по новому синхросигналу, например с обратного направления передачи информации. На рис. 1-3 показана последовательность действий при проведении измерений по переключению. Видно, что на начальном этапе графика скачок ОВИ, вызванный переключением входных синхросигналов, укладывается в маску за время 1 с. С увеличением масштаба и смещением графика ОВИ он пересекает минимальную маску, но не пересекает максимальную маску. Так как ОВИ не пересекает маску максимального сигнала, хотя при этом и не видно второго скачка, вызванного, например, переходом из режима удержания в режим синхронизма, то оборудование не может быть забраковано по использованию норм на переключение синхросигналов.

Ознакомившись с некоторыми вопросами измерения параметров ТСС, перейдем непосредственно к проведению измерений на оборудовании синхронизации и на сети ТСС.

При измерениях необходимо соблюдать ряд общеизвестных правил, о которых все знают, но которые очень часто не выполняются. К таким правилам, в первую очередь, относятся следующие.

Обязательное питание прибора через отдельный фильтр, а еще лучше - через источник бесперебойного питания. Это требование вызвано тем, что если в розетку, соседнюю с розеткой, используемой для питания измерительного прибора, включить паяльник, то, скорее всего, прибор зафиксирует некоторый скачок по фазе измеряемого сигнала. На самом деле произошло скачкообразное изменение питающего напряжения, и изменились условия сличения фаз опорного генератора и исследуемого сигнала. Так как разрешающая способность у приборов порядка 100 пс, то малейшее изменение напряжения питания или сопротивления контактов при подаче синхросигнала



**Рис. 2. График ОВИ. Переключение синхросигналов на входе оборудования. Скачок произошел на 80 с от начала измерения. Скачок ОВИ перемещен в начало координат**

приводит к сбоям в измерениях, проявляющимся как скачок фазы.

Обязательное предварительное заземление прибора отдельным кабелем с общей шиной исследуе-

**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

мой аппаратурой, причем до включения питания прибора и персонального компьютера.

Обязательное надежное подключение к исследуемому объекту. Данное условие особенно трудно выполнить из-за наличия в разных видах аппаратуры огромного количества самых разнообразных типов соединителей, к которым необходимо подключаться. Правда, очень часто используются соединители D-SUB 9 pin, BNC, RJ-45 и CP-50, для которых, как правило, у приборов имеются соответствующие переходники.

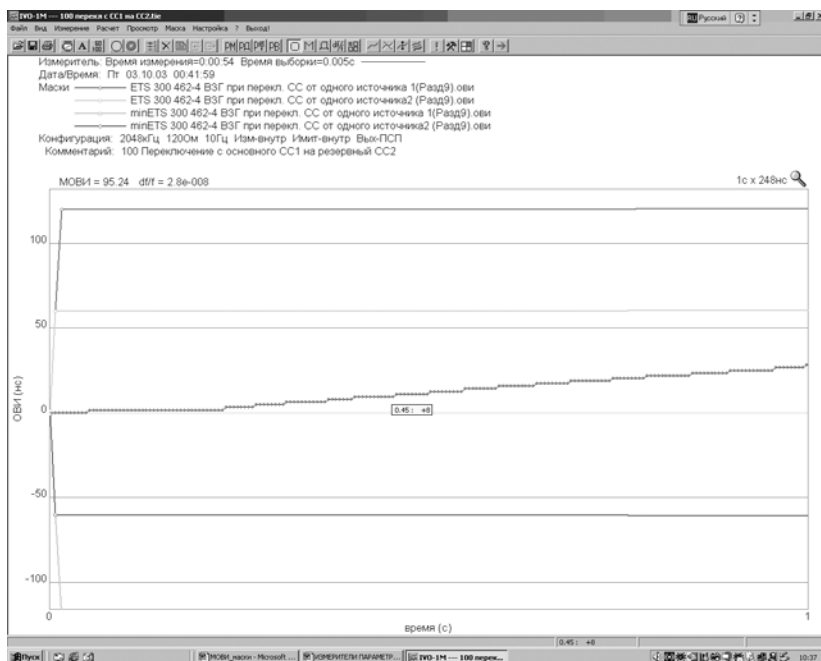
Выполнив эти предварительные условия, можно, собственно, заниматься измерениями. Измерения проводятся для следующих целей.

1. Составление паспорта присоединения сети ТСС оператора связи к базовой сети тактовой сетевой синхронизации [4]. Под базовой сетью понимается такая сеть ТСС, на которой установлено достаточное количество ПЭГ для синхронизации всей цифровой сети ВСС (взаимоувязанной сети связи) и на которой обеспечивается необходимый постоянный контроль за качеством синхронизации. В соответствии с нормативными документами базовой сетью является сеть ОАО "Ростелеком" [5]. Оператор базовой сети обязан предоставлять сигнал синхронизации, в то время как любой другой оператор может отказаться от предоставления этой услуги. Оператор присоединяемой сети несет ответственность за качество сигналов, подаваемых в базовую сеть. Сеть ЗАО "Компания ТрансТелеком" приравнена к сети ОАО "Ростелеком", но не считается базовой для ВСС. Обе сети охватывают основную территорию густонаселенной части России, дополняют и резервируют друг друга. В дальнейшем, возможно, произойдет создание единой базовой сети ТСС, в которой все ПЭГ будут зарезервированы, так как города расположения ПЭГ у обеих компаний в ос-

новном совпадают [6]. Паспорт присоединения может быть составлен и для присоединения к оператору связи, в свою очередь уже присоединившемуся к базовой сети. Для этого у присоединившегося к базовой сети оператора связи должна быть лицензия в соответствии с [7] и экспертное заключение головной организации (в настоящее время это ФГУП ЦНИИС или ФГУП ЛОНИИС), которое определяет соответствие характеристик сети ТСС существующим требованиям и рекомендации по возможностям использования и развития его сети ТСС. По существующим требованиям [4] измерение должно проводиться на выходе оборудования, с которого предоставляется синхросигнал (СС), т.е. на входе соединительной линии (СЛ) между источником и получателем СС, на выходе СЛ и на выходе присоединяемого оборудования. Представляется, что это излишне усложненная процедура. При передаче синхросигнала с помощью сигналов STM-N измерение параметров сигналов синхронизации должно проводиться на интерфейсах, ближайших к точке подключения мультиплексоров СП СЦИ. Если синхросигналы поступают непосредственно с выходов ПЭГ, ВЗГ или аппаратуры распределения синхросигналов (АРСС), то параметры этих синхросигналов допустимо измерять на свободных выходах указанной аппаратуры.

2. Составление электрических паспортов на оборудование сетевой синхронизации: ПЭГ, ВЗГ, МЗГ, ПЭИ, коммутационной станции и мультиплексора. В настоящее время практически все операторы связи с достаточно развитой сетью ТСС перед установкой оборудования на магистраль составляют электрические паспорта на него. Это связано, прежде всего, с тем, что в дальнейшем, в процессе эксплуатации, многие параметры просто невозможно проверить без отключения от сети - и то с нарушением связи. Проверка оборудования до установки на магистраль позволяет выявить скрытые неисправности и подтвердить или опровергнуть заявленные в документации и сертификатах параметры аппаратуры. В последнем случае - предъявить претензии поставщикам оборудования, что невозможно сделать, когда оборудование уже принято и установлено в сети связи. При составлении электрических паспортов проверяются:

- форма выходного сигнала синхронизации 2048 кГц или 2048 Кбит/с;
- нестабильность частоты;
- полоса захвата;
- проверка на предельные блуждания фазы выходного сигнала синхронизации;
- передаточная характеристика управляемого генератора;
- измерения допустимых скачков частоты во входном синхросигнале;
- фазовая ошибка в выходном синхросигнале при переключении на резервный сигнал синхронизации;



**Рис. 3. График ОВИ. Переключение синхросигналов на входе оборудования (видно, что после удаления части графика ОВИ он укладывается в начальную часть шаблона)**

- непрерывность фазы в выходном синхросигнале при переключении на резервный комплект управляемого генератора;
- дрейф фазы выходного сигнала синхронизации (МОВИ и ДВИ);
- долговременные фазовые изменения в выходном синхросигнале при использовании режима удержания (holdover);
- состояние оптической сигнализации;
- достаточность информации о состоянии оборудования;
- управление конфигурацией, рабочими характеристиками и безопасностью.

Для каждого вида оборудования из данного списка выбираются присущие только ему. Так для ПЭГ, очевидно, нет режима удержания, полосы захвата и удержания, переключения входных синхросигналов и т.д. У ПЭИ нет резервного генератора, и, следовательно, не может быть проверена норма на переключение внутренних генераторов и т.д.

3. Проведение аудита сети оператора связи. При проведении данных работ различают:

- первичный аудит, который проводится сразу после подключения сети ТСС оператора связи к базовой сети, при кардинальном изменении цифровой сети оператора, при изменении источника синхронизации. Кардинальным изменением признается появление пяти и более последовательно включенных ГСЭ;
- периодический аудит, который проводится не реже одного раза в три года для подтверждения эксплуатационных показателей сигналов синхронизации, установленных при проведении первичного аудита;
- внеплановый аудит, который проводится при поступлении сообщений от вторичной сети об ухудшении качества связи, например при появлении значительного количества "проскальзываний" в коммутационной аппаратуре; при многократном получении аварийных сообщений и при определении с помощью внутренних средств измерений несоответствия нормам, установленным для параметров синхронизации.

Измерения на сети ТСС должны проводиться в соответствии с программой, согласованной с организациями, которые проводят аудит и дают экспертное

заключение. Как правило, работа по выдаче экспертного заключения состоит из трех этапов.

1. Должны быть проверены условия получения эталонных синхросигналов (наличие паспорта присоединения сети оператора связи к базовой сети).

2. Должно быть проверено оборудование, установленное на сети ТСС оператора связи (наличие паспортов на оборудование).

3. Должно проверяться прохождение синхросигнала в начале и в конце цепочек их передачи при основном и резервных синхросигналах, имеющихся на данном участке сети ТСС. По результатам измерений составляются протоколы измерений с выводами по каждому измерению о соответствии установленным нормам и приложением распечаток измерений ОВИ, МОВИ и ДВИ.

Все измерения могут проводиться как самим оператором связи (только на своей сети и при этом лицензии на проведение измерений параметров сети ТСС не требуется), так и сторонними организациями, имеющими лицензию на проведение измерений параметров сети ТСС. Все измерения должны проводиться в соответствии с действующими руководящими документами [8-13]. Перечисленные документы требуют новой редакции. Это связано с тем, что документы [8-13] составлялись в 2000-2001 годах и к настоящему моменту частично вошли в противоречия с новыми редакциями международных стандартов и рекомендаций, а практика измерения на действующих сетях связи показывает некоторую избыточность требований [8-13].

Поскольку на сети ТСС, как правило, имеются основной и один или несколько резервных источников синхронизации, то испытания всей сети должны проводиться при работе от каждого из источников синхронизации на конкретном участке сети.

Программа проведения измерений должна содержать характеристики сигналов синхронизации на выходах Т4 аппаратуры в начале и в конце сети синхронизации, а также на входах и выходах коммутационного оборудования, независимо от места его расположения и от того, является ли данное оборудование источником резервной синхронизации или нет.

Рассмотрим более подробно все три вида измерений.

### Присоединение сетей операторов связи

Таблица 1

Класс присоединения	Источник синхронизации	Интерфейс	Время измерения	Норма по Р 45.09-2001	
				МОВИ нс	ДВИ нс
1	ПЭГ	2048 кГц 2048 Кбит/с	1200 с (20 мин)	$\tau \geq 0-80 = 25$ $\tau \geq 1000 = 300$	$\tau \geq 0-100 = 3$ $\tau \geq 1000 = 30$
2	ВЗГ, МЗГ, БСС СП СЦИ	2048 кГц 2048 Кбит/с	12000 с (3,3 часа)	$\tau \geq 0-5 = 50$ $\tau \geq 5 = 2000$	$\tau \geq 0-10 = 3$ $\tau \geq 10-1000 = 70$
3	Мультиплексор СП СЦИ (ГСЭ)	2048 кГц	3600 с (1 час)	$\tau \geq 0-2 = 50$ $\tau \geq 2-3600 = 1500$	$\tau \geq 0-10 = 8$ $\tau \geq 10-300 = 150$
4	БСС ПЦИ	2048 Кбит/с 2048 кГц	12000 с (3,3 часа)	$\tau \geq 0-7 = 250$ $\tau \geq 7-3600 = 1200$	$\tau \geq 0-20 = 10$ $\tau \geq 10-1000 = 500$
	АРСС или ПСС	Класс присоединения соответствует классу входного синхросигнала			

Основным источником синхронизации для всех цифровых сетей связи является базовая сеть ТСС России или приравненные к ней сети ТСС, на которых установлено требуемое количество ПЭГ. Кроме ПЭГ источниками синхросигналов могут быть первичные эталонные источники (ПЭИ), которые не образуют весь комплекс ПЭГ (ПЭГ должен иметь три независимых ПЭИ). ПЭИ могут использоваться на сетях ТСС операторов связи совместно с другими источниками получения синхросигналов, и только в крайнем случае, для изолированных сетей, ПЭИ могут являться единственным источником получения синхросигнала. ПЭИ, дисциплинированные по СРНС GPS, могут использоваться только в качестве резервного источника синхросигнала. ПЭИ, дисциплинированные по СРНС ГЛОНАС/GPS, могут использоваться в качестве основного сигнала.

В зависимости от источника получения синхросигнала операторы связи могут получать синхросигнал разных классов.

К первому классу относится непосредственное соединение с ПЭГ. В этом случае оператор связи может последовательно включать на своей сети до 60 мультиплексоров СП СЦИ (ГСЭ) и до 10 ВЗГ. Подряд разрешается включать не более 20 ГСЭ, после чего должен устанавливаться ВЗГ.

Ко второму классу относится непосредственное подключение к ВЗГ, МЗГ или цифровой коммутационной станции (БСС - блок сетевой синхронизации), соответствующей по своим характеристикам генератору ВЗГ. В этом случае сеть оператора связи может содержать последовательно включенными 30 ГСЭ и до 5 ВЗГ.

К третьему классу относится подключение к ГСЭ. При этом сеть оператора связи не должна содержать последовательно включенными более 20 ГСЭ и 4 ВЗГ, причем до первого ВЗГ количество ГСЭ не должно превышать 5.

К четвертому классу относится подключение к сетям ПЦИ или получение синхросигнала через СЛ в виде сети ПЦИ, а также к БСС, которые не удовлетворяют требованиям МЗГ. В этом случае первым должен стоять ВЗГ или МЗГ, после которого допускается не более 20 последовательно соединенных ГСЭ.

Класс присоединения к аппаратуре распределения синхросигналов (АРСС) определяется классом получаемого АРСС синхросигнала.

Существенное значение при составлении паспортов присоединения имеет время измерения качества синхросигнала и нормы, установленные для параметров синхросигналов, как это показано в табл. 1.

В процессе составления паспорта присоединения проверяются: формы СС на соответствие Рекомендации МСЭ-Т G.703, дрожание и фазовые блуждания на входе СЛ, выходе СЛ, выходе оборудования. Форма паспорта дается в [8]. Форма входного/выходного синхросигнала должна укладываться в шаблоны, представленные в Рекомендации МСЭ-Т G.703 п. 13 и п. 9 соответственно для нагрузочных сопротивлений 75 и 120 Ом. Измерение может быть проведено лю-

бым осциллографом с полосой пропускания не менее 50 МГц,  $K_0 = 10$  мВ/дел ... 5 В/дел,  $\pm 5\%$ .  $K_p = 0,1$  мкс/дел ... 5 с/дел,  $\pm 5\%$ . Как видно из приведенных данных, это может быть как обычный осциллограф, так и приставка к ЭВМ. Последняя предпочтительней, так как при проведении измерений все равно используется ЭВМ типа Notebook для измерителя блуждания фазы. Лучше, если осциллограф оснащен маской соответствующих сигналов или для него разработана программа, позволяющая использовать измеренные данные для сопоставления с маской. Если имеется только осциллограф и нет возможности сопоставления с масками, то в большинстве случаев достаточно контролировать только амплитуду импульсов.

Сигнал не должен иметь постоянной составляющей или "плавать" относительно постоянной составляющей. Если измеряются входящие синхросигналы, то надо точно знать - откуда они поступают. Если с выхода пассивной соединительной линии, то возможно затухание до 6 дБ. Такое затухание, как известно, приводит к уменьшению амплитуды и всех ее составляющих параметров в два раза. Сигнал на выходе оборудования всегда должен укладываться в соответствующую маску Рекомендации G.703 без дополнительного затухания или усиления.

По результатам измерений составляются протоколы, форма которых будет дана позже в приложении к серии статей. К каждому протоколу прикладываются распечатки измерений параметров ОВИ, МОВИ и ДВИ. Распечатки измерений формы синхросигнала не требуется. Достаточно указать, соответствуют они нормам или нет. Распечатки измерений фазового дрожания также не требуется, необходимо лишь указать величины пиковых значений в соответствующей таблице.

### **Измерения, выполняемые при составлении электрического паспорта на оборудование сетевой синхронизации**

Проведение измерений параметров сигналов, контролируемых при составлении электрических паспортов на оборудование сетевой синхронизации, рассмотрим отдельно для каждого вида.

#### **1. Форма выходного сигнала синхронизации 2048 кГц или 2048 Кбит/с.**

Уже рассмотрена выше при составлении паспорта присоединения.

#### **2. Нестабильность частоты.**

Если исследуемая аппаратура не находилась в эксплуатации, то достаточно просто ее включить и на выходе Т4 (внешний выход сигнала тактовой синхронизации) с помощью измерителя фазовых блужданий измерить ОВИ за время 1 час. Если измерения проводились с помощью прибора ИВО-1М, то после окончания измерений на экране уже имеются рассчитанные показания относительной нестабильности за все время измерения  $\Delta(\Delta f/f)$ . Если для измерений

Таблица 2

Наименование аппаратуры	Старение за год, менее	Старение за 15 лет, не более
ПЭГ	$\pm 1 \cdot 10^{-11}$	$\pm 1 \cdot 10^{-11}$
ВЗГ	$\pm 1 \cdot 10^{-9}$	$\pm 1 \cdot 10^{-8}$
МЗГ	$\pm 1 \cdot 10^{-8}$	$\pm 1 \cdot 10^{-7}$
БСС-1	$\pm 1 \cdot 10^{-8}$	$\pm 1 \cdot 10^{-7}$
БСС-2	$\pm 1 \cdot 10^{-7}$	$\pm 1 \cdot 10^{-6}$
БСС-5	$\pm 5 \cdot 10^{-8}$	$\pm 4,6 \cdot 10^{-7}$

Таблица 3

Наименование аппаратуры	Полоса захвата, не менее	Полоса удержания, более	Стандарт
ВЗГ	$\pm 0,01 \text{ ppm } (\pm 1 \cdot 10^{-8})$	Подлежит изучению	ETS 300 462-4
МЗГ	$\pm 0,016 \text{ ppm } (\pm 1,6 \cdot 10^{-8})$	Подлежит изучению	ETS 300 462-7
БСС- 1	$\pm 0,01 \text{ ppm } (\pm 1 \cdot 10^{-8})$	Подлежит изучению	ETS 300 462-4
БСС- 2	$\pm 0,2 \text{ ppm } (\pm 2 \cdot 10^{-7})$	Подлежит изучению	ETS 300 462-7
БСС- 5	$\pm 0,1 \text{ ppm } (\pm 1 \cdot 10^{-7})$	Подлежит изучению	P 45.08-2001
ГСЭ	$\pm 4,6 \text{ ppm } (\pm 4,6 \cdot 10^{-6})$	$\pm 4,6 \text{ ppm } (\pm 4,6 \cdot 10^{-6})$	ETS 300 462-5

используется другой прибор, который автоматически не рассчитывает показания  $\Delta f/f$  за время измерения, то надо задать этот расчет. В крайнем случае, необходимо помнить, что существует формула пересчета МОВИ в  $\Delta f/f$ .

$$\frac{МОВИ, с}{t_{изм. с}} = \frac{\Delta f}{f}$$

Формула справедлива при условии, что характеристика ОВИ относительно равномерная (монотонная), т.е. имеет примерно равный наклон за все время измерения.

Если аппаратура уже получала синхросигнал от источника стабильного сигнала, то до начала измерений необходимо перезапустить генератор аппаратуры для сброса всех накопленных данных, чтобы она вышла на режим свободных колебаний (free run), а не в режим удержания частоты (Holdover).

Параметры собственного генератора, определяющие нестабильность частоты выходных синхросигналов в автономном режиме, должны укладываться в пределы, определяемые старением генератора. Данные для различного оборудования приведены в табл. 2.

Если в процессе измерений получится результат хуже, чем указан в графе за 15 лет, то генератор необходимо подстроить. При измерениях номинального значения частоты у ПЭГ необходимо использовать внешний стандарт для измерителя блужданий или, например, прибор ИВО-1М совместно с внешним калибратором VCH-313. Дисциплинируя рубидиевый генератор прибора ИВО-1М по сигналам СРНС ГЛОНАС/GPS, можно получить относительное отклонение частоты рубидиевого источника

прибора не хуже чем  $\pm 2 \cdot 10^{-12}$  за время измерения (время измерения для ПЭГ составляет 24 часа), что позволяет достоверно отмерить качество сигнала на выходе ПЭГ. Результат подстройки генератора прибора по сигналам СРНС показан на рис. 4.

Как видно из рис. 4, для рубидиевого источника прибора ИВО-1М была заранее установлена относительная нестабильность -  $2,8 \cdot 10^{-11}$ . Такой величины относительного отклонения частоты опорного генератора недостаточно для контроля генератора ПЭГ. Примерно после двух часов измерений калибратор VCH-313 произвел автоматическую коррекцию частоты рубидиевого источника до величины  $5 \cdot 10^{-13}$ . После этого в течение 38 часов калибратор каждые 6 часов проводил коррекцию частоты так, что на наиболее крутом участке относительное отклонение частоты не превы-

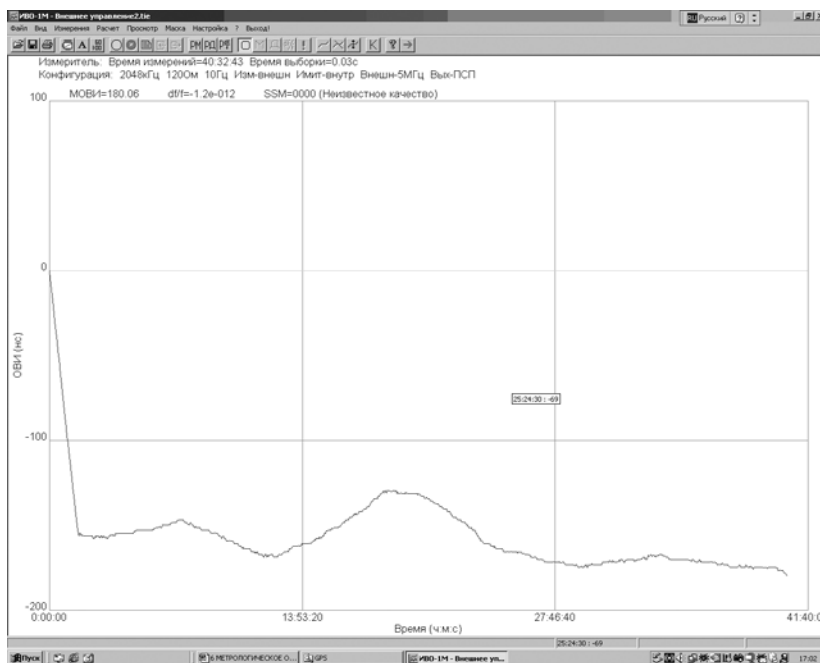


Рис. 4. Результат подстройки рубидиевого генератора прибора ИВО-1М по сигналам СРНС GPS

Таблица 4

Тип аппаратуры	Тестовый сигнал					
	Частота, Гц	1	0,2	0,01	0,001	0,0001
ВЗГ, МЗГ. G.812 ETS 300 462-4, 7	Амплитуда модуляции, нс	375	1000	1000	2500	2500
	Частота, Гц	1	0,1	0,01	0,001	0,0001
БСС Р 45.08-2001	Амплитуда модуляции, нс	375	375	1000	1000	2500
	Частота, Гц	1	0,1	0,01	0,001	0,0001
ГСЭ ETS 300 462-5 G.813	Амплитуда модуляции, нс	125	200	1000	1000	2500
	Частота, Гц	1	0,1	0,01	0,001	0,0001
Время измерения, с		2000	2000	2000	10000	20000

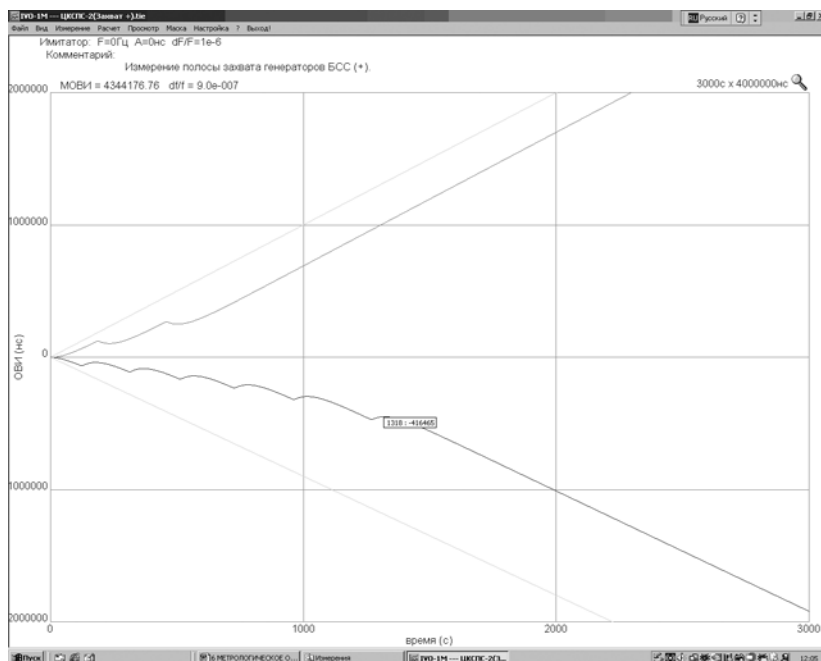


Рис. 5. Измерение полосы захвата аппаратуры

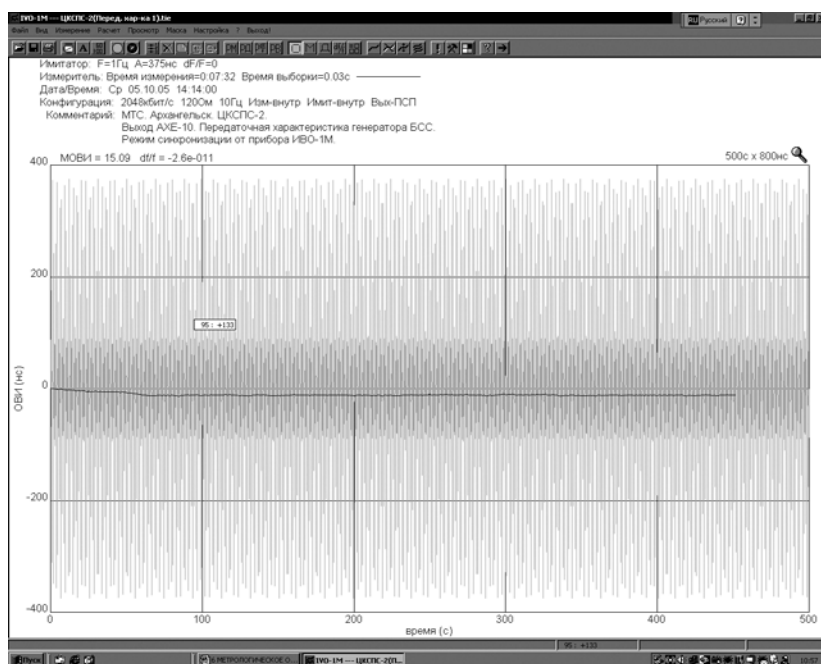


Рис. 6. Проверка устойчивости оборудования к входному дрейфу фазы (амплитуда модуляции  $A_m = 375$  нс, частота модуляции  $F_m = 1$  Гц)

сило  $1,7 \cdot 10^{-12}$  за 6 часов. За все время от первой коррекции и до окончания измерений относительное отклонение частоты составило  $1,7 \cdot 10^{-13}$ . Выход частоты рубидиевого генератора прибора сравнивался с выходом активного водородного стандарта, установленного в компании ЗАО "Время-Ч", относительная нестабильность которого за сутки не превышает  $\pm 1 \cdot 10^{-14}$ , что позволяет говорить о достоверности проведенных измерений.

### 3. Полоса захвата.

Измерение полосы захвата внутреннего генератора аппаратуры синхронизации от внешнего синхронизирующего сигнала происходит следующим образом. Первоначально перезапускают аппаратуру, чтобы сбросить накопленные данные. Аппаратура должна работать в автономном режиме. На вход аппаратуры подают синхросигнал с относительным отклонением частоты  $1 \text{ ppm}$  ( $-1 \cdot 10^{-6}$ ). Выход Т4 аппаратуры подсоединяют к измерительному входу прибора.

Измеряют ОВИ, как это показано на рис. 5.

На рисунке 5 видно, что первый измеряемый сигнал ( $-1 \text{ ppm}$ ) примерно через 1500 с становится параллельным подаваемому синхросигналу. Это значит, что аппаратура вошла в синхронизм. По второму входному синхросигналу ( $+1 \text{ ppm}$ ) аппаратура входит в синхронизм несколько быстрее. Если в течение часа наблюдений аппаратура не входит в синхронизм, то на ее вход подается синхросигнал с относительным отклонением частоты  $\pm 0,5 \text{ ppm}$ , если после этого аппаратура все равно не входит в синхронизм, то уменьшают относительное отклонение до  $\pm 0,01 \text{ ppm}$  и т.д. до тех пор, пока аппаратура не войдет в синхронизм от поступающего синхросигнала. Характер входа в синхронизм у исследуемого синхросигнала может не соответствовать показанному на рис. 5, но параллельность в любом случае

должна появиться. Как только получен результат захвата, то поданный синхросигнал с соответствующим отклонением считается величиной захвата в (+) или (-), а полоса захвата - определенной. На рис. 5. аппаратура по результатам двух измерений имеет полосу захвата  $\pm 1 \text{ ppm}$  ( $\pm 1 \cdot 10^{-6}$ ).

Требуемая минимальная величина полосы захвата для разного вида оборудования синхронизации представлена в табл. 3.

Если для измерения полосы захвата используется не прибор ИВО-1М, то приходится применять синтезатор частоты, синхронизированный по эталонным частотам, формируемым тем прибором, который используется для измерений (см. табл. 2 в журнале "Техника связи" № 1/2006). На синтезаторе первоначально устанавливается частота 2048002 Гц ( $+ 9,76 \cdot 10^{-7}$ ), а затем 2047998 Гц ( $- 9,76 \cdot 10^{-7}$ ), т.е.  $\pm 2$  Гц, затем  $\pm 1$  Гц,  $\pm 0,5$  Гц и т.д. до окончания измерений, как и в приборе ИВО-1М.

Аналогичным образом можно измерить и полосу удержания, которая несколько отличается от полосы захвата. Как правило, полоса удержания должна быть несколько шире полосы захвата, в крайнем случае - равна ей. Для определения полосы удержания устанавливают частоту 2048 кГц с относительным отклонением в пределах полосы захвата, фиксируют синхронизм и затем начинают увеличивать относительное отклонение частоты входного СС. В приборе ИВО-1М это можно делать путем перезапуска работы имитатора, предварительно изменяя относительное отклонение частоты с любым шагом, кратным  $\pm 1 \cdot 10^{-13}$ , что существенно упрощает работу. Как только после очередного перезапуска имитатора ОВИ измеряемого генератора перестанет (с некоторой задержкой) оставаться параллельной ОВИ подаваемого синхросигнала и обнаружит меньшее относительное отклонение частоты, чем у подаваемого синхросигнала - значит, зафиксирован край полосы удержания. В зависимости от полосы фильтрации оборудования время, затраченное аппаратурой на вход в синхронизм, будет различным. Так, ГСЭ должен входить в синхронизм за время не более одной секунды, а у ВЗГ это время может составить от 1 до 1000 с. Исходя из указанных пределов и необходимо проводить измерения до фиксации захвата.

4. Устойчивость к предельным блужданиям фазы входного синхросигнала.

Проверка на устойчивость к предельным блужданиям фазы выходного сигнала синхронизации исследуемого оборудования производится путем подачи на синхровход аппаратуры синхросигнала 2048 кГц или 2048 Кбит/с, модулированного по фазе синусоидальным сигналом с частотой в диапазоне от 1 Гц до  $1 \cdot 10^{-4}$  Гц с амплитудой модуляции от 375 нс до 2500 нс (рис. 6). На вход аппаратуры подаются максимально допустимые для каждого вида аппаратуры сигналы накопленного сетевого дрейфа, выраженные в МО-ВИ. Тактовый генератор оборудования не должен давать индикационных сообщений о неправильной ра-

боте и переключаться в режим свободных колебаний или удержания частоты. Параметры таких сигналов представлены в табл. 4.

Рассмотрим методику проверки на предельные блуждания фазы на примере ВЗГ. Как видно из табл. 4, на вход исследуемой аппаратуры с выхода прибора ИВО-1М первоначально подается синхросигнал 2048 кГц или 2048 Кбит/с, модулированный частотой 1 Гц с амплитудой модуляции 375 нс (размах СС 750 нс, что соответствует предельно допустимому значению накопленного дрейфа фазы на входе ВЗГ).

На экране монитора наблюдают измерения ОВИ. В результате наблюдения должен появиться вывод о том, что аппаратура находится в синхронизме с подаваемым СС, т.е. ОВИ должна быть параллельна оси абсцисс. Одновременно следят за показаниями сигнализации аппаратуры. Не должно быть аварийных переключений и сигналов о неисправностях за счет синхронизации.

Если измерения производятся не прибором ИВО-1М, то СС с выхода прибора необходимо подать на вход модулятора в качестве несущей частоты, а с отдельного генератора частоты необходимо подавать частоту модуляции в диапазоне от 1 до  $1 \cdot 10^{-4}$  Гц с требуемой амплитудой.

*Продолжение статьи читайте  
в следующем номере журнала.*

### Литература

1. Леготин Н.Н. Измерение фазовых блужданий // Техника средств связи. 2006. № 1.
2. Рекомендация МСЭ-Т G.813 "Временные характеристики ведомых генераторов для синхронизации оборудования СЦИ и ПЦИ". 1998, март.
3. ETS 300 462-5 09/96 "Передача и мультиплексирование (ТМ); Общие требования для сетей синхронизации. Ч. 5: Временные характеристики ведомых генераторов для работы оборудования синхронной цифровой иерархии SDH".
4. Решение ГКСЭ № 11 от 27.09.2000 г. "О состоянии работ по созданию системы тактовой сетевой синхронизации ОАО "Ростелеком" как базовой системы ТСС ВСС России".
5. Рыжков А.В. Частота и время в инфокоммуникациях XXI века. М.: Международная академия связи, 2006.
6. Правила присоединения ведомственных и выделенных сетей электросвязи к сети электросвязи общего пользования. 1996.
7. РД 45.002-96 "Руководство по установлению номенклатуры средств измерений, подлежащих поверке".
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 Взаимоувязанной сети связи Российской Федерации". М.: Минсвязи России.
12. РД 45.237-2002 "Измерители показателей ошибок и параметров дрожания и дрейфа фазы цифровых трактов". М.: Минсвязи России.
13. ОСТ 45.134-99 "Приборы для измерения дрожания и дрейфа фазы в цифровых сигналах электросвязи. Технические требования. Методы испытаний".