

Дмитрий Гиенко, главный специалист ТОО «Digital TV»
Вячеслав Чулков, технический эксперт WISI

Особенности формирования и измерения PCR в MPEG-сигнале

Одной из важнейших задач при формировании, приеме и распространении цифровых телевизионных MPEG-поток является обеспечение временной синхронизации сигналов. Этой цели служит вставка в цифровой поток специальных временных меток Program Clock Reference — PCR. Описанию того, что это за метки, как они влияют на работу цифровых устройств, методам измерений и диагностики посвящена эта статья. Основной материал для нее базируется на результатах исследований фирмы Tektonix, которые были использованы с любезного разрешения ее московского представительства.

Прием и ретрансляция сигналов цифрового телевидения требуют восстановления всех временных интервалов, использованных при формировании исходного сигнала. В ряде случаев восстановление принятых потоков может быть проблематичным в результате флуктуаций сигналов синхронизации. Далее кратко описываются принципы формирования сигналов синхронизации и измерений их флуктуаций.

На рисунке 1 приведена структурная схема формирования транспортного потока MPEG для цифрового компонентного сигнала. При формировании сжатого видеосигнала MPEG кодер в качестве опорного генератора использует эталонный высокоточный генератор с частотой 27 МГц. Такой выбор опорной частоты обусловлен тем, что путем различных операций деления/умножения из него можно легко сформиро-

вать полный набор всех опорных сигналов, необходимых для аналоговых и цифровых видеосигналов различных стандартов. На рисунке 3 показано, как из частоты опорного генератора формируются все основные сигналы, необходимые для формирования телевизионных сигналов BT.601/PAL/NTSC.

В случае формирования транспортного потока из входного сигнала PAL/NTSC схема выглядит несколько сложнее (рисунок 2), но в ней также присутствует опорный генератор 27 МГц. В этом случае его частота формируется из входного сигнала с использованием петли фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ).

В обеих схемах опорный генератор подключается к счетчику, значения которого периодически фиксируются в регистре и включаются в выходной транспортный поток как сигналы временной привязки — PCR.

Период и стабильность следования этих меток не являются слишком критическими. Так, в ISO/IEC13818-1 рекомендуется использовать интервал 100 мс, в то время как в DVB ETR154 это значение составляет 40 мс. Следует только заметить, что более высокая частота следования PCR-меток облегчает работу системы ФАПЧ приемника и делает ее более стабильной.

Требования к стабильности опорной частоты 27 МГц значительно более жесткие. Стандарт ISO/IEC13818-1 определяет допуск на значение PCR в ± 500 нс, что соответствует отклонению частоты не более ± 810 Гц или $\pm 30 \times 10^{-6}$.

Эти значения были положены в основу технологии измерений параметров PCR, описанной в документе ETR290, хотя в рекомендации четко указано, что это измерение не включает в себя любые нарушения транспорта.

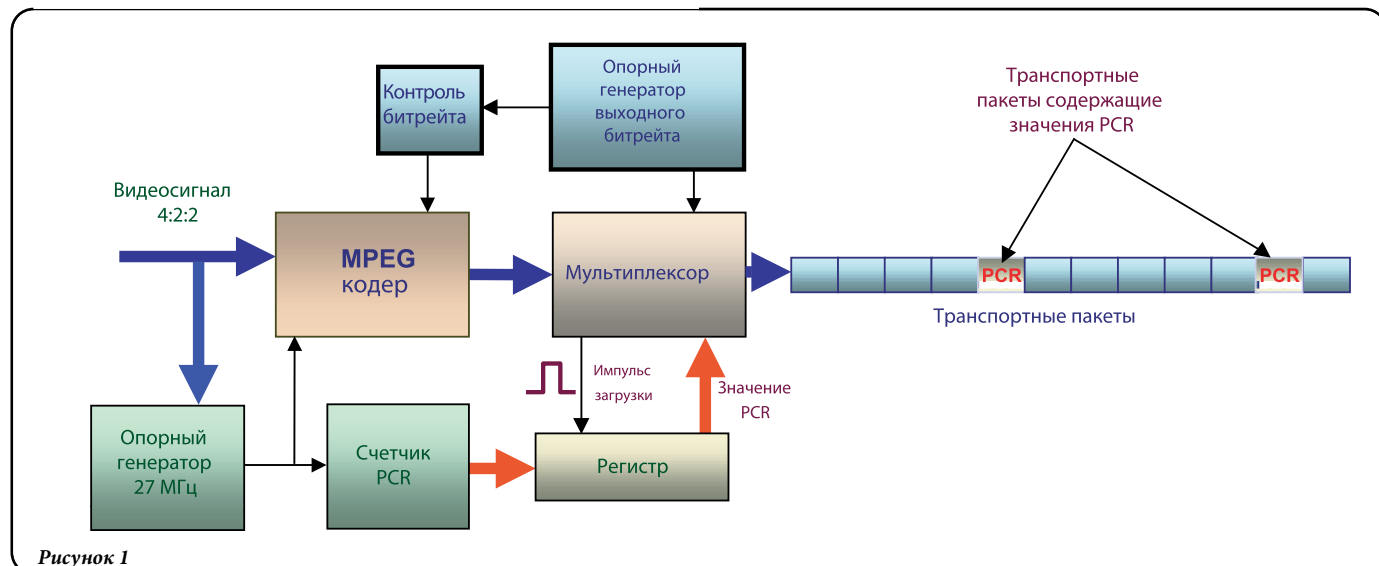


Рисунок 1

МУЛЬТИСЕРВИСНЫЕ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ И ТЕЛЕВИДЕНИЯ

ОПТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

качество проверенное временем

Оптические усилители и передатчики



- Fx-OV32xx
- ES10XL-xxx



- OTM-1550
- EDFA-1550

Оптические приемники

TELESTE



- CXE810
- CXE852



- OR-862
- OR-862S
- OR-862S-2



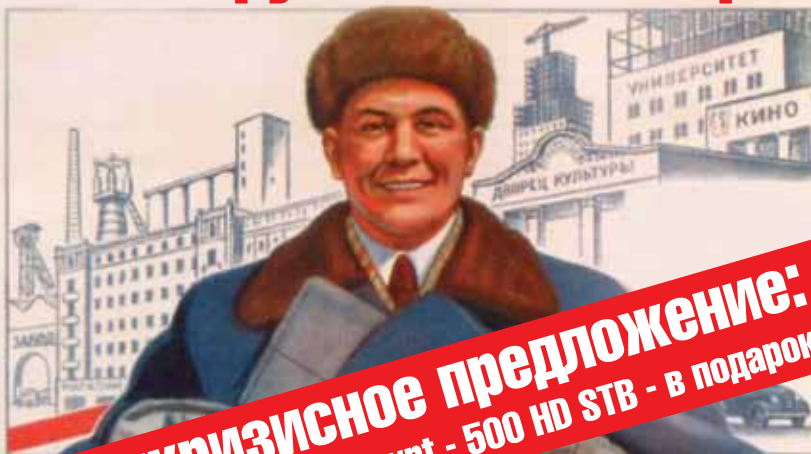
Ждем Вас на международной выставке CSTB'2015 27-29 января, г. Москва Крокус Экспо, пав.1, зал 4, стенд 525



Россия, 129344 г. Москва, ул. Искры, д. 9, корп. 2, тел./факс: +7(495) 221-81-88 (многоканальный),
E-mail: info@kontur.ru http://www.kontur.ru

реклама

Не знаешь – хранить в рублях или в евро? Купи CAS – сбереги нервы!



Антикризисное предложение:
приобретая CAS DRECrypt - 500 HD STB - в подарок



ООО «Цифра»
(812) 309-06-16
www.cifratech.com

реклама

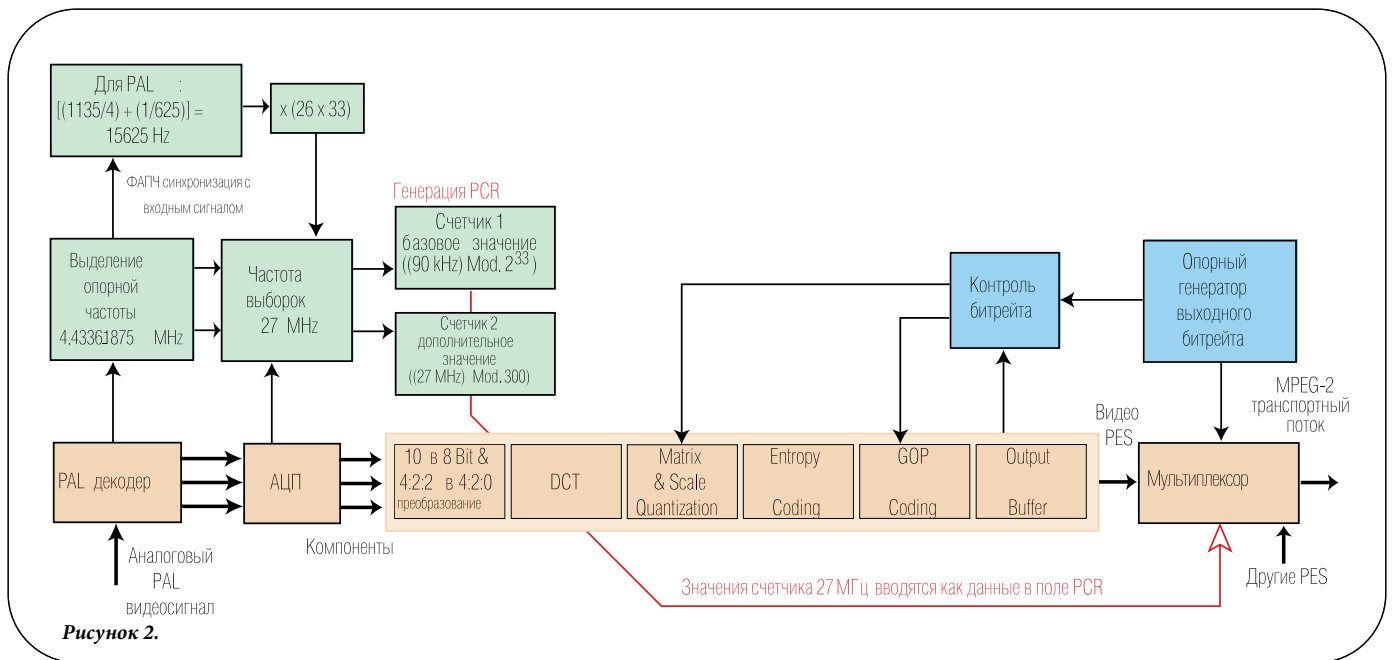


Рисунок 2.

Сигналы PCR в составе цифрового потока проходят весь путь распространения цифрового сигнала и дают цифровому ТВ-приемнику возможность синхронизации декодированного выходного видео с исходным видео на входе декодера. Приемник, то есть MPEG-декодер, для правильного функционирования должен считывать значения PCR, сравнивать их с собственными внутренними системными часами.

Если полученные значения PCR совпадают с системными часами декодера, часы на обоих концах синхронизированы. Отклонения опорного генератора декодера корректируются с помощью фазовой автоподстройки частоты — ФАПЧ (англ. PLL).

В процессе формирования цифрового потока и доставки его до декодера в сигналы PCR вносятся погрешности, которые приводят к ошибкам декодирования и являются одной из основных причин искажений в выходных видеосигналах MPEG-декодеров. Поэтому вопросы измерения различных параметров качества входящих PCR-сигналов имеют такое важное значение.

Точность формирования PCR конечна, определяется тактовой частотой генератора и не может превышать периода его колебаний ~37 нс. Далее мультимплексор сигнала вводит значение PCR в поток не в момент записи сигнала PCR, а в момент передачи соответствующего пакета, что также вносит дополнительную ошибку. При добавлении других сервисов также могут появиться дополнительные ошибки, если мультимплексор изменит положение пакета в потоке, содержащем PCR. Все эти ошибки в документе TR 101 290 получили название PCR_AC.

PCR accuracy (PCR_AC) включает в себя все ошибки опорной частоты 27 МГц,

связанные с процессом формирования транспортного потока, но не включает дополнительные ошибки, связанные с транспортом, добавляющиеся при передаче и промежуточных преобразованиях.

Проблемы PCR проявляются в первую очередь в появлении артефактов на выходе MPEG-декодера или потере цветности на PAL/NTSC-изображении. Проблемы джиттера могут возникнуть при повторном мультиплексировании транспортного потока. Причина в том, что, например, меняется порядок следования пакетов транспортного потока без соответствующего изменения значения PCR.

Иногда джиттер PCR может значительно превышать допустимые значения ± 500 ns и не все декодеры могут это обработать. Информация PCR передается в поле адаптации пакета транспортного потока, принадлежащего к соответствующей программе. Информация о типе пакетов TS находится в соответствующей PMT. Таблица PMT содержит так называемый PCR_PID, чаще всего для этой цели используют PID видео. Этот PID нельзя удалять из потока, так как без него будет невозможно декодирование сервисов.

В приемнике PCR извлекаются из транспортного потока и значения отсчетов сравниваются с аналогичными отсчетами от локального генератора 27 МГц. Разница между полученными значениями PCR и значениями, генерируемыми локальным счетчиком, используется для управления ФАПЧ декодера (Phase Locked Loop).

Система ФАПЧ имеет ограничения по своим возможностям. Так, она может обеспечивать синхронизацию только в ограниченном диапазоне частот, но и это применимо только к медленным изменениям частоты. Для быстрых изменений частоты

этот диапазон существенно сужается.

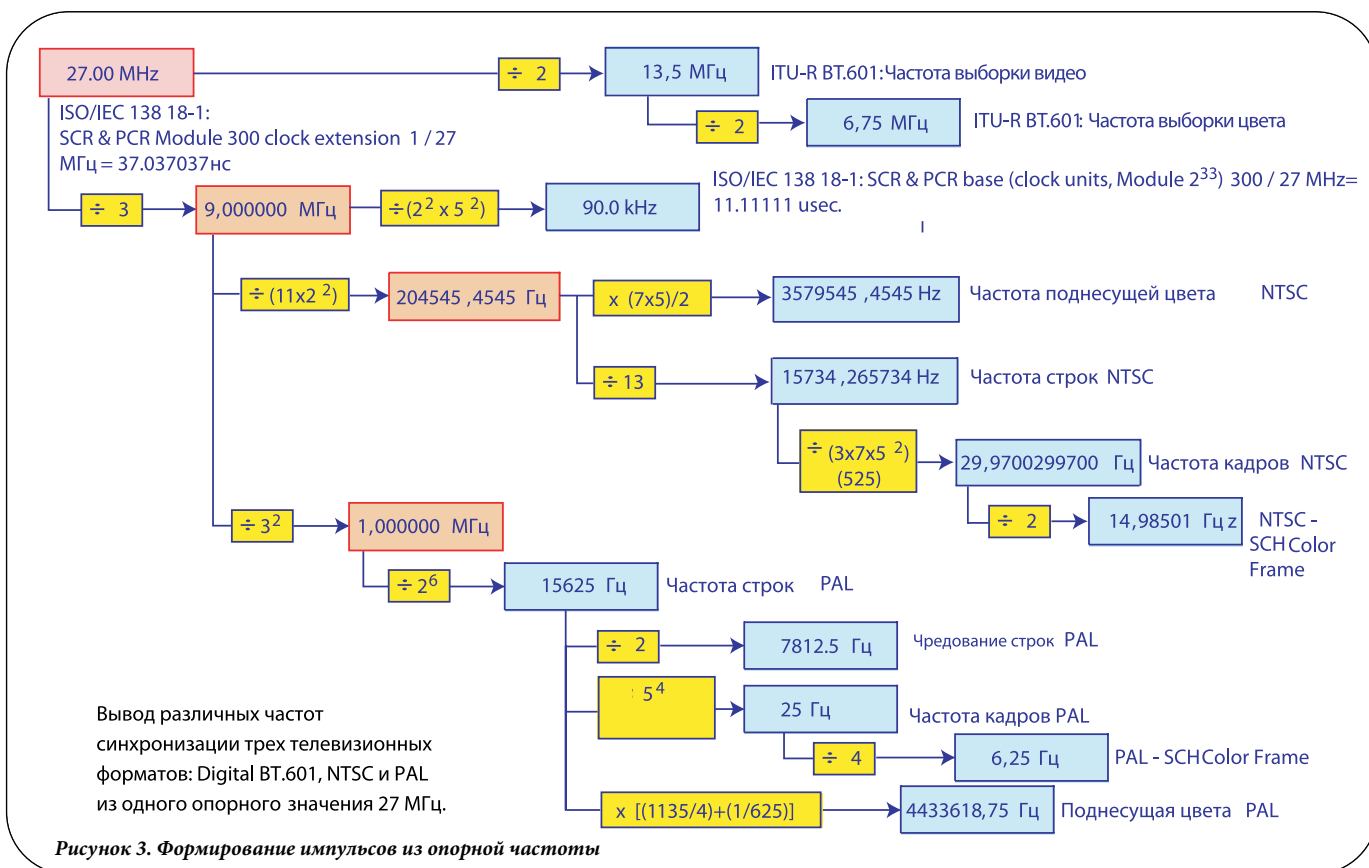
При выборе параметров системы ФАПЧ перед разработчиками стоит сложная задача выбора: если сделать петлю ФАПЧ инерционной, то это обеспечит высокую стабильность локального генератора, но полоса захвата и удержания такой петли получается невысокой. Если сделать постоянную времени петли малой («быстрая» ФАПЧ), то такая ФАПЧ способна захватить и удержать входной поток даже со значительным джиттером, но частота локального генератора при этом получается нестабильной.

Именно разница в настройке петли ФАПЧ является причиной того, что разные приемники по-разному принимают один и тот же поток при наличии в нем ошибок PCR. Некоторые устройства, такие как абонентские телевизоры и STB, в состоянии синхронизироваться, другие устройства, такие как профессиональные декодеры, не могут. В результате система теряет синхронизацию и просмотр ТВ-программы становится невозможным.

Таким образом, система ФАПЧ, обеспечивая синхронную работу опорных генераторов в передатчике и приемнике, дает возможность декодирования цифрового сигнала.

Однако, как отмечалось ранее, в процессе передачи цифрового сигнала по транспортным сетям генерируются дополнительные ошибки PCR, связанные с различиями во времени доставки пакетов (jitter) или даже с изменением порядка следования пакетов.

Ремультимплексоры, вставляя или удаляя некоторые потоки из сервисов, меняют положение пакетов, содержащих метки PCR, что приводит к дополнительным ошибкам PCR. Чтобы уменьшить такие



ошибки, профессиональные мультиплексы рассчитывают величину сдвига пакетов с PCR в транспортном потоке и корректируют содержащиеся в них значения PCR (PCR restamping). Но ошибки полностью не устраняются. Накопление таких ошибок может вызвать проблемы в цепи устройств на последующих этапах.

Эти ошибки имеют более сложную структуру по сравнению с ошибками PCR_AC. Учет ошибок, связанных с транспортом сигналов, потребовал доработки документов ETR290 и TR 101 290. Были до-

бавлены еще три измеряемых параметра:

- PCR drift rate (PCR_DR) — ошибки, вызванные медленными изменениями PCR, связанными с вариациями параметров среды передачи (drift).
- PCR overall jitter (PCR_OJ) — ошибки, вызванные быстрыми изменениями PCR, связанными с вариациями параметров среды передачи (jitter).
- PCR frequency offset (PCR_FO) — смещение опорной частоты по отношению к эталонной частоте 27 МГц. Можно заметить, что значения PCR_DR

и PCR_OJ отражают влияние вариации параметров среды передачи и различаются только диапазоном частот. По рекомендациям DVB MG, вариации с частотами ниже 0,01 Гц относятся к PCR_DR, а выше — к PCR_OJ.

С практической точки зрения ошибки PCR_DR и PCR_FO могут быть относительно легко скорректированы системой ФАПЧ приемника, в то время как ошибки PCR_OJ являются более критичными.

Более сложной получается картина в том случае, когда принимаемый цифро-



Форвард ТС

ВРЕЗКА ЛОКАЛЬНОЙ РЕКЛАМЫ, ОРГАНИЗАЦИЯ СОБСТВЕННОГО КАНАЛА В ЦИФРОВОМ ФОРМАТЕ

- Работа с транспортными потоками MPTS/SPTS, DVB - T2 MI
- Прием и вывод сигнала через интерфейсы IP и/или ASI со сжатием MPEG2/AVC
- Врезка локальной рекламы и наложение титров (логотип, бегущая строка) в одну или несколько программ транспортного потока
- Создание собственного канала вещания в цифровом формате
- Мультиформатное расписание вещания (AVI, MPEG2, MOV, MP4, AVC)
- Многослойные титры (логотип, бегущая строка, часы, банеры, SMS-чат)
- Вещание на мобильные устройства с использованием технологии HTTP Live Streaming
- Трансляция телеканала в интернет
- Вещание в SD и HD-разрешениях
- Ретрансляция с задержкой (Time Shift)

ССТВ'2015 27-29 ЯНВАРЯ МОСКВА МВЦ "КРОКУС ЭКСПО" ЗАЛ 4 СТЕНД 4-550

СофтЛаб-НСК www.softlab.tv sales@softlab.tv forward@softlab.tv тел.: +7 (383) 333-1067 339-9220



реклама

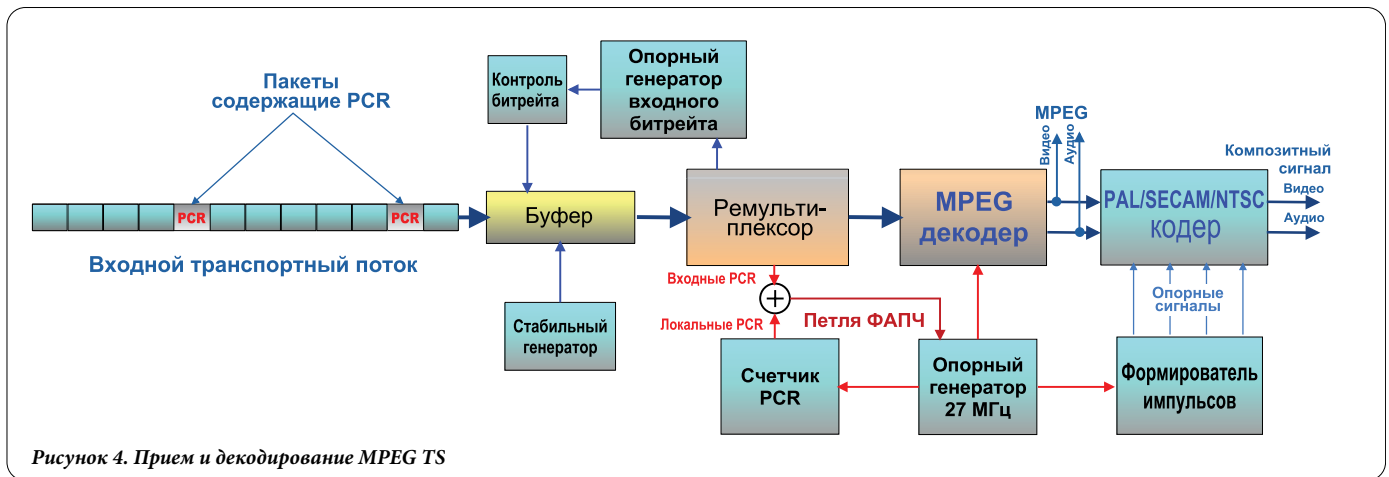


Рисунок 4. Прием и декодирование MPEG TS

вой MPEG-поток преобразуется в сигналы аналогового стандарта PAL/SECAM/NTSC.

Здесь, как и во многих подобных преобразователях, для формирования всех необходимых опорных частот используется общий опорный генератор 27 МГц (см. рисунки 3 и 4). В таблице 1 приведены требования к стабильности опорных частот для различных систем цветного телевидения. Из этой таблицы видно, что для систем PAL/NTSC эти требования существенно выше, чем требования к опорной частоте цифрового MPEG-декодера. Поэтому при преобразовании MPEG=>PAL/NTSC встречаются ситуации, когда при нормальном функционировании MPEG-декодера выходной сигнал PAL/NTSC формируется со сбоями. Чаще всего это проявляется в виде потери цветности. Исправить данную ситуацию можно ужесточением требований к ошибкам PCR или отключением опорного генератора PAL/NTSC от генератора MPEG-декодера и функционированием его в автономном режиме. Однако это требует поддержки от разработчиков оборудования.

Можно заметить, что требования к стабильности цветовых поднесущих стандарта SECAM существенно ниже, чем требования MPEG. Поэтому при использовании этого стандарта цветности вышеописанная ситуация практически не встречается.

На структурных схемах (рис. 1 и 2) видно, что, кроме опорного генератора MPEG-потока, в формирователях присутствует опорный генератор выходного битрейта. Это независимые генераторы. Причем генератор битрейта единый для всего транспортного потока и обеспечивает синхронизацию приемника/передатчика сети передачи. Его нестабильность также может влиять на ошибки PCR. Однако практически во всех системах передачи используется буферизация входного потока, когда нестабильный входной поток сначала загружается в буфер, а затем выдается в MPEG-декодер с равномерной скоростью с использованием вспомога-

тельного стабильного опорного генератора. Это устраняет ошибки PCR, связанные с нестабильностью битрейта (например, от IP jitter), если они находятся в диапазоне буферизации потока.

Сложнее, если MPEG-поток содержит несколько программ. В этом случае он может формироваться как поток, содержащий единый PCR для всех программ (SPTS). Но чаще каждая программа имеет свой собственный PCR (MPTS). В этом случае документ ETSI TS 102 034 накладывает ограничения на передачу таких транспортных потоков через IP-сети. Так, SPTS-поток может передаваться как в режиме VBR, так и в режиме CBR, но при передаче MPTS-потоков, содержащих несколько PCR, передавать их допускается только в CBR-режиме.

Заключение

Для обеспечения надежной работы сети распространения цифровых MPEG-сигналов выполнение требований по допуску на сигналы PCR в ± 500 нс является недостаточным, необходимо проводить измерения параметров PCR по 4 параметрам:

- PCR_AC,
- PCR_DR,
- PCR_OJ,
- PCR_FO.

Единственные измерения, которые могут выявить нарушения транспорта, облегчая тем самым выявление и устранение неисправностей, — это PCR_DR и PCR_OJ.

В случае использования MPEG-сигнала для преобразования программ в аналоговый формат требования к стабильности

PCR должны быть значительно ужесточены либо можно рекомендовать использование системы цветности SECAM.

Для передачи по IP-сетям SPTS-сигналов можно использовать CBR- или VBR-режим передачи, для MPTS-сигналов — только CBR.

К сожалению, ограниченный объем статьи позволил дать только краткий обзор вопросов, связанных с проблемами PCR. Те, кого заинтересовал данный материал, могут найти более подробную информацию в первоисточниках, ссылки на которые приведены в конце статьи.

Использованная литература и полезные ссылки:

Guide to PCR Measurements, document number 25W-14617-0, Tektronix.

A Layman's Guide to PCR Measurements, Tektronix, Technical Brief

Walter Fischer. Digital Video and Audio Broadcasting Technology. A Practical Engineering Guide. Second Edition.

ETSI TS 102 034 V1.5.1 (2014-05) Digital Video Broadcasting (DVB); Transport of MPEG-2 TS Based DVB Services over IP Based Networks»

International Standard ISO/IEC13818-1 MPEG Systems

ETSI Technical Report ETR290 — Measurement Guidelines for DVB Systems — May '97

Draft ETSI Technical Report TR 101 290 — Measurement Guidelines for DVB Systems

A Guide to MPEG Fundamentals and Protocol Analysis – document number 25W-11418-3

Таблица 1. Допустимые погрешности установки частоты опорного генератора в зависимости от системы цветного телевидения

	NTSC (SMPTE)	PAL (ITU-R-I-624)	SECAM (ITU-R-I-624)
Погрешность поднесущей цвета	$3 \cdot 10^{-6}$	$0,23 \cdot 10^{-6}$ (для I); $1 \cdot 10^{-6}$ (для В/Г)	$400 \cdot 10^{-6}$
Скорость дрейфа	0,1 Пц/с	0,1 Пц/с (для I)	
Нестабильность строчной синхронизации	1,0 нс	2,5 нс (среднее за одно поле)	32 нс (по I-624); 2,5 нс (по Rс. 711)