

## СИНХРОНИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО СИГНАЛА В ПЕРЕДАТЧИКАХ ОДНОЧАСТОТНЫХ СЕТЕЙ ЦИФРОВОГО ТВ-ВЕЩАНИЯ

**В. Л. Карякин**, профессор кафедры радиосвязи, радиовещания и телевидения Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ), д.т.н.; vl@karyakin.ru

**Д. В. Карякин**, старший системный инженер компании Juniper Networks, к.т.н.; dm@karyakin.ru

**Л. А. Морозова**, доцент кафедры экономики и организации производства ПГУТИ, к.т.н.; morozova@rcf.ru

Анализируется проблема синхронизации информационного сигнала в передатчиках одночастотных сетей (Single Frequency Network, SFN) цифрового ТВ-вещания стандарта DVB-T2. Показан механизм формирования метки времени передатчиков в пакетах потока T2-MI, поддерживающий синхронизацию времени излучения передатчиков стандарта DVB-T2. Предложен метод, обеспечивающий фазовую синхронизацию информационного сигнала в передатчиках SFN. Разработан способ измерения задержек и их калибровки в передатчиках SFN, имеющих значительный разброс временных задержек обработки информационного сигнала при возможном разбросе задержек сигнала в каналах связи от центра мультиплексирования до входов возбуждителей передатчиков.

**Ключевые слова:** одночастотная сеть SFN, DVB-T2, поток T2-MI, метки времени, временные задержки, фазовая синхронизация.

**Введение.** Большинство российских радиотелевизионных центров в настоящее время уже оснащено передатчиками отечественных и зарубежных производителей для вещания программ I мультиплекса. Оснащение радиотелевизионных центров для вещания программ II и III мультиплексов преимущественно будет осуществляться передатчиками отечественного производства [1].

Во многих регионах проводится тестовое вещание в стандарте второго поколения — DVB-T2. Однако при переходе от локального вещания к вещанию в одночастотных сетях (Single Frequency Network, SFN) цифрового ТВ возникают проблемы, связанные с синхронизацией информационного сигнала передатчиков.

Для синхронизации работы передатчиков в SFN используются система глобального позиционирования GPS (Global Positioning System), а также Глобальная навигационная спутниковая система (ГЛОНАСС), поддерживающие высокостабильную опорную частоту возбуждителей передатчиков 10 МГц и тактовые импульсы сигнальных процессоров с частотой 1 Гц (pulse per second, 1 pps) [2]. Важным требованием является также обеспечение равенства задержек информации от источника до антенн передатчиков (рис. 1, где РПД — радиопередатчик; РПУ — радиоприемник; РЧК — радиочастотный канал;  $N$  — номер радиопередатчика в сети;  $M$  — номер радиоприемника в сети;  $j$  — номер ТВ-канала).

Следует отметить, что методы обеспечения синхронизации SFN во многом определяются техническими характеристиками модуляторов передатчиков. К возбудителям зарубежных передатчиков, например R&S и Harris, входящих в состав SFN, предъявляются жесткие требования по разбросу задержек при обработке информационного сигнала (ИС), а также по унификации управления этими задержками. К сожалению, на практике приходится выбирать тип возбудителя по другим критериям качества. Поскольку эффективность управления нелинейностью тракта усилителя мощности также во многом зависит от технических характеристик возбудителя, в мощных и средней мощности передатчиках могут быть применены возбудители с большим разбросом задержек, что требует принципиально иных методов обеспечения синхронизации передатчиков одночастотной сети стандарта DVB-T2.

Кроме того, необходимо учитывать специфику синхронизации информационного сигнала в сетях ТВ-вещания второго поколения: используемый в стандарте DVB-T2 механизм, обеспечивающий идентичность информационного сигнала, излучаемого передатчиками синхронной сети, отличается от механизма, примененного в DVB-T. Принимая во внимание отмеченные проблемы и специфику реализации сетевого ТВ-вещания в стандарте DVB-T2, сформулируем цель работы как создание алгоритма настроек, метода измерений и калибровки задержек информационного сигнала SFN передатчиков стандарта DVB-T2, в которых модуляторы имеют значительный разброс временных задержек обработки ИС при возможном разбросе таких задержек в каналах связи от центра мультиплексирования до входов возбуждителей передатчиков.

**Временные диаграммы задержек информационного сигнала.** На рис. 2 представлены этапы прохождения ИС от центра мультиплексирования (источника информации) до антенны передатчика.

Рассмотрим основные виды задержек ИС.

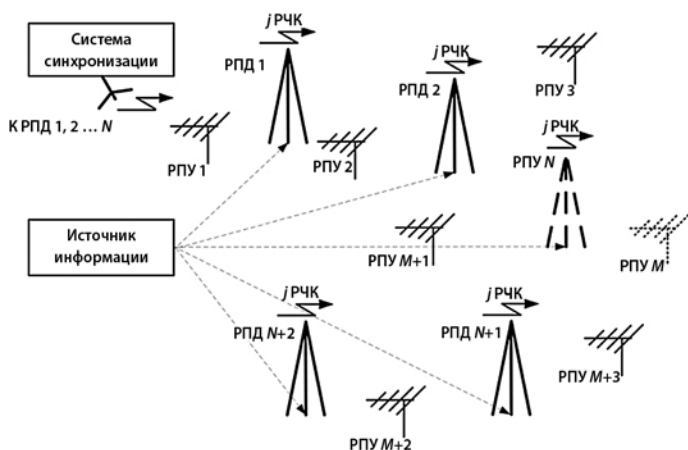


Рис. 1. Функциональная схема SFN наземного цифрового ТВ-вещания

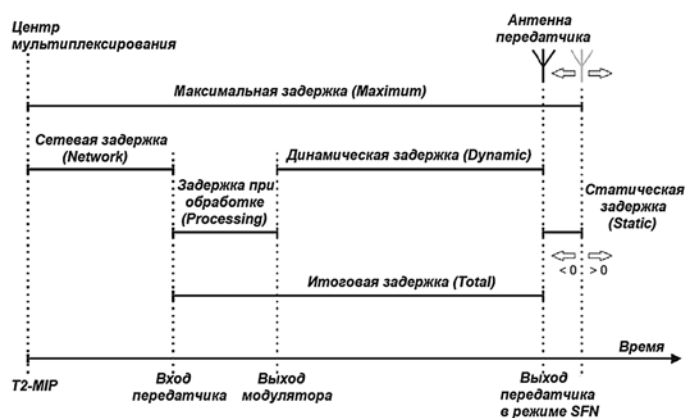


Рис. 2. Временные диаграммы задержек ИС в SFN передачи данных

**Сетевая задержка (Network Delay)** — время, необходимое для прохождения ИС от формирователя транспортных потоков T2-MI центра мультиплексирования до входа возбуждителя. В структуре транспортного потока T2-MI (T2-Modulator Interface) имеются символы синхронизации с информацией T2-MIP (T2-modulator information packet).

**Задержка при обработке (Processing Delay)** — время обработки ИС в модуляторе передатчика. Задержка зависит от технической реализации модулятора и параметров передаваемого сигнала.

**Динамическая задержка (Dynamic Delay)** — время, на которое искусственным образом задерживается обработка ИС для достижения требуемого времени передачи. Оценивается микроконтроллером возбуждителя на основании времени обработки сигнала в модуляторе. Устанавливается в автоматическом режиме.

**Итоговая задержка (Total Delay)** — время, выраженное суммой значений задержки при обработке и динамической задержки.

**Статическая задержка (Static Delay)** — положительное или отрицательное смещение, которое используется для компенсации расхождений между передающими системами разных производителей. В данном примере статическая задержка отрицательная. Устанавливается в ручном режиме.

На рис. 2 показана также **максимальная задержка (Maximum Delay)** — время, необходимое ИС для прохожде-

ния от центра мультиплексирования до антенны при автономной работе передатчика.

**Методы обеспечения идентичности ИС в стандарте DVB-T2.** Как отмечено выше, механизм, который обеспечивает идентичность ИС, излучаемого передатчиками синхронной сети, и применяется в стандарте DVB-T2, отличается от механизма, используемого в DVB-T. В DVB-T2 отсутствуют SFN-адаптер и пакеты инициализации суперкадра (Mega-frame Initialization Packet, MIP), поэтому методики измерений в синхронной сети, описанные в TR 101 290, для DVB-T2 неприемлемы. Следует обратить внимание и на то, что аббревиатуры «MIP», в первом и втором поколениях DVB образованные начальными буквами различных слов, имеют разный физический смысл.

Учитывая принципиальные изменения в методах синхронизации передатчиков стандартов DVB-T и DVB-T2, консорциум DVB опубликовал документ [3], посвященный измерениям интерфейса T2-MI и оформленный как дополнение к TR 101 290.

Пакеты потока T2-MI (рис. 3), предназначенные для синхронизации времени излучения передатчиков, имеют метку времени *T2\_timestamp*. Возможны два механизма формирования метки: абсолютной метки *seconds\_since\_2000* и относительной *subseconds*.

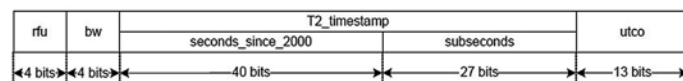


Рис. 3. Формат пакета T2-MI с полями формирования метки времени

Для формирования абсолютной метки предназначено поле *seconds\_since\_2000* (40 бит). Абсолютная метка содержит количество секунд, прошедших с начала 2000 г. Если поле *seconds\_since\_2000* имеет значение 0000000000<sub>16</sub>, формируется относительная метка *subseconds* (27 бит).

Метка времени *subseconds* задается в формирователе транспортного потока T2-MI (в T2-шлюзе). Значение метки после прихода очередного импульса 1 pps равно количеству субсекундных единиц, умноженному на  $T_{\text{sub}} = 1/64$  мкс для стандартного канала 8 МГц.

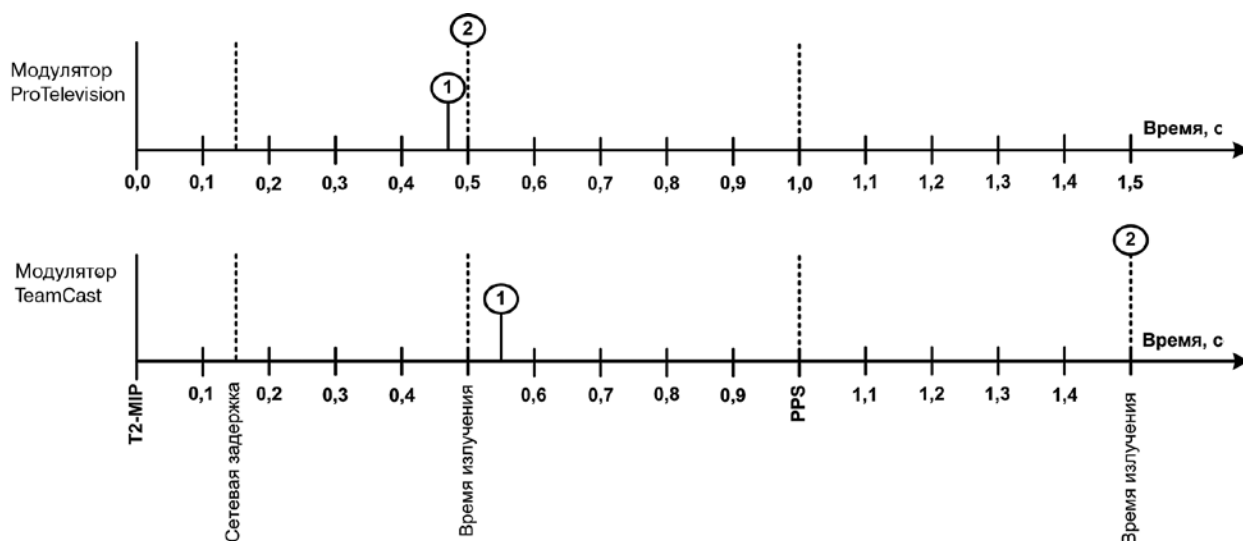


Рис. 4. Анализ работы передатчиков в SFN с модуляторами ProTelevision и TeamCast

Значение относительной метки, не превышающее одной секунды, выбирается с учетом сетевых задержек и времени задержки в модуляторе.

Поле *rfu* (4 бит) зарезервировано для использования в будущем.

Поле *bw* (4 бит) указывает на полосу пропускания канала, в данном случае  $4_{16}$ , что соответствует стандартному каналу 8 МГц.

Поле *utco* (13 бит) задает смещение (в секундах) между текущим временем и временем по Гринвичу. Используется только при формировании абсолютной метки.

**Отечественные передатчики в SFN.** Поскольку методы обеспечения синхронизации SFN во многом определяются техническими характеристиками модуляторов передатчиков, в [4] анализируется работа отечественных передатчиков производства «Триада» в SFN с модуляторами ProTelevision и TeamCast.

Исследования показали отсутствие синхронизации ИС из-за расхождения задержек в модуляторах. Была установлена причина неработоспособности передатчиков в SFN и на конкретном примере дана количественная оценка расхождения задержек (рис. 4).

На рис. 4 введены следующие обозначения: 1 — задержка при обработке (Processing); 2 — итоговая задержка (Total); сетевая задержка — Network; время излучения Maximum network delay задается временными метками в T2-шлюзе (T2-Gateway); PPS — один импульс в секунду.

В [4] также рассмотрен метод компенсации задержек ИС в модуляторах ProTelevision и TeamCast. Для синхронной работы передатчиков через веб-интерфейс блока системы дистанционного контроля введена задержка 1 pps, благодаря чему время излучения в передатчиках с модуляторами ProTelevision и TeamCast сдвигается на такой же интервал времени и, следовательно, в обоих передатчиках увеличится запас по времени.

Недостатком предложенного в [4] метода является сложность предварительных настроек передатчиков, предназначенных для работы в SFN, а также отсутствие унификации управления этими задержками.

Перейдем к рассмотрению метода обеспечения синхронной работы передатчиков, не требующего введения дополнительных задержек 1 pps, что позволяет значительно упростить технологию пусконаладочных работ SFN в стандарте DVB-T2. Метод представлен в виде алгоритма настроек передатчиков, имеющих значительный разброс временных задержек информационного сигнала.

**Алгоритм настроек SFN-передатчиков, предназначенных для работы в одночастотной сети цифрового ТВ-вещания стандарта DVB-T2.** Настройки передатчиков (рис. 5) включают в себя следующие этапы:

**A1.** Ввод исходных данных:  $GI$  — защитный интервал времени, соответствующий топологии размещения передатчиков в зоне обслуживания;  $S_1, S_2, S_3, \dots, S_{n-1}; S_n$  — временные задержки ИС при его распространении от T2-шлюза центра формирования мультимплексов (ЦФМ) до каждого из

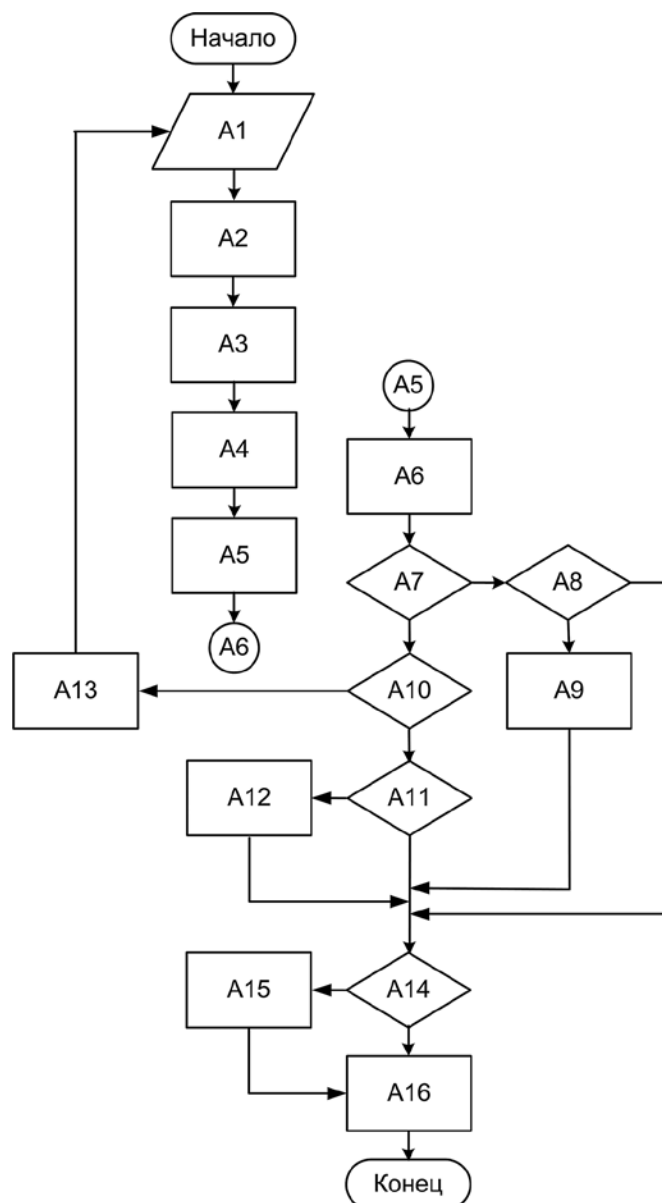


Рис. 5. Алгоритм настроек SFN-передатчиков стандарта DVB-T2

передатчиков;  $M_1, M_2, M_3, \dots, M_n; M_n$  — итоговые задержки ИС в модуляторах передатчиков;  $n$  — количество передатчиков в SFN.

**A2.** Определение результирующей задержки ИС в каждом из передатчиков  $R_i = S_i + M_i$ , где  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ .

**A3.** Определение максимальной задержки  $R_{max}$  ИС в SFN.

**A4.** Определение отклонения задержек в каждом из передатчиков SFN от максимального значения:  $E_i = R_{max} - R_i$ .

**A5.** Ввод дополнительных задержек ИС в модуляторы передатчиков  $R_i = R_i + E_i$ .

**A6.** Измерение значения метки времени  $T_m$  излучения передатчиков.

**A7.** Проверка выполнения условия  $R_i < 1$  с. Если условие не выполняется, идти к **A10**.

**A8.** Проверка выполнения условия установления синхронизма на первой секунде:  $1\text{ с} > T_m \geq R_i$ . Если условие выполняется, идти к **A14**.

**A9.** Установка метки времени излучения передатчиков  $T_m$  в Т2-шлюзе ЦФМ, удовлетворяющей условию  $1\text{ с} > T_m \geq R_i$ . Идти к **A14**.

**A10.** Проверка выполнения условия  $2\text{ с} > R_i > 1$  с. Если условие не выполняется, идти к **A13**.

**A11.** Проверка выполнения условия установления синхронизма на второй секунде:  $2\text{ с} > T_m + 1 \geq R_i$ . Если условие выполняется, идти к **A14**.

**A12.** Установка метки времени излучения передатчиков  $T_m$  в Т2-шлюзе ЦФМ, удовлетворяющей условию  $2\text{ с} > T_m + 1 \geq R_i$ . Идти к **A14**.

**A13.** Устранение причин возникновения задержек, превышающих 2 с. Идти к **A1**.

**A14.** Проверка соответствия установленного защитного интервала в передатчиках SFN задержкам эхо-сигналов  $Z_j$  в зоне обслуживания, если  $GI > Z_j$ ,  $j = 1, 2, 3, \dots, k$ . Здесь  $k$  — номер контрольной точки измерений в зоне обслуживания. Если условие выполняется, идти к **A16**.

**A15.** Установка защитного интервала, удовлетворяющего условию  $GI > Z_j$ ,  $j = 1, 2, 3, \dots, k$ .

**A16.** Завершение настройки синхронной работы передатчиков SFN и переход к анализу качества ТВ-вещания в зоне обслуживания.

**Требования к предлагаемому методу настройки передатчиков.** Настройка передатчиков, входящих в состав одночастотной сети, должна обеспечить равенство временных задержек, не превышающих 2 с, на всех передатчиках в полном соответствии с выбранной относительной меткой времени, устанавливаемой в формирователе транспортного потока Т2-М1. Оценка сетевых задержек на входе возбуждителя и итоговых задержек в модуляторах обеспечивается измерителем с визуальной индикацией результатов измерений. При большом разбросе задержек необходимо ввести дополнительные статические задержки на программном или аппаратном уровне, выровняв, таким образом, разброс задержек ИС в модуляторах передатчиков, а также возможный разброс задержек ИС в каналах связи.

**Измерения задержек ИС в каналах передачи данных.** Проблема задержки распространения сигнала, так или иначе, затрагивает все спутниковые системы связи. Наибольшей задержкой обладают системы, использующие спутниковый ретранслятор на геостационарной орбите. В этом случае задержка, обусловленная конечностью скорости распространения радиоволн, составляет примерно 250 мс.

Следует отметить, что для измерений можно использовать портативные анализаторы «Макс-ЕМ», «Макс-ЕМК» производства «Бинар-КОМ». Измерение временной задержки представляет собой базовую опцию отечественных анализаторов и не требует установки дополнительных опций.

Эта опция важна для операторов, имеющих в составе сетей спутниковые и радиорелейные каналы, а также компоненты компьютерных сетей нового поколения (New Generation Networks, NGN), которые также вносят задержку при передаче информации. Кстати, в технической литературе встречается и другой вариант расшифровки аббревиатуры: Next Generation Network — сети следующие

поколения [5]. Оба варианта имеют один физический смысл. В данной работе речь идет о пакетных сетях, обеспечивающих предоставление мультисервисных услуг [6].

Измерения задержки выполняются обычно по шлейфу одним прибором. При измерениях задержки в передаваемый поток вставляются временные метки.

Анализаторы позволяют не только измерить среднюю задержку распространения, но и оценить ее вариацию. Для этого в меню измерения задержки фиксируются три значения: текущее время задержки, минимальная и максимальная задержка за время измерения.

Оценка вариации задержки особенно важна для анализа систем передачи с переменной задержкой, в частности при изменении задержек в случае переключения приема с регионального центра мультимплексирования на федеральный центр, а также при возможном использовании компьютерных сетей передачи данных, таких как NGN.

**Измерения и калибровка результирующих временных задержек в модуляторах передатчиков.** На рис. 6 представлена схема измерений и калибровки результирующих временных задержек в модуляторах (МОД) передатчиков стандарта DVB-T2 в соответствии с требованиями по реализации предложенного алгоритма настройки передатчиков, сформулированными в разделе «Методы обеспечения идентичности ИС в стандарте DVB-T2» (на рис. 6 также обозначено: ТУМ — тракт усиления мощности; АНТ — антенна).

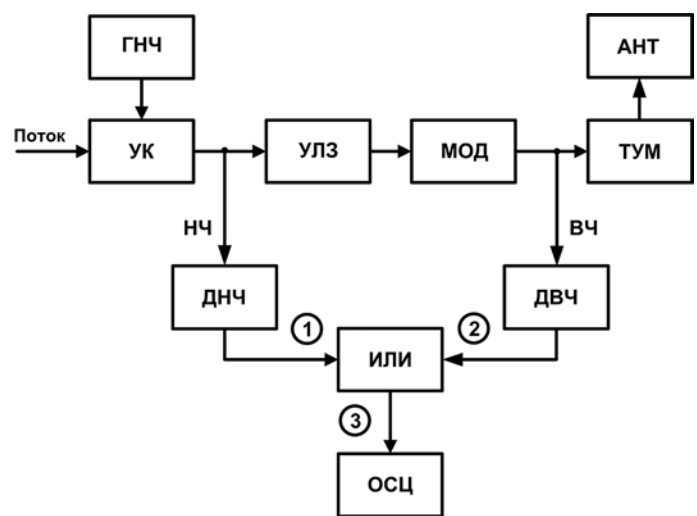


Рис. 6. Измерения и калибровка результирующих временных задержек в модуляторах передатчиков DVB-T2

С целью выравнивания результирующих временных задержек информационного сигнала на входе модуляторов включены управляемые линии задержки (УЛЗ), диапазон возможных изменений которых определяется разбросом сетевых задержек и задержек обработки ИС в модуляторах передатчиков, включенных в состав SFN.

Для измерения результирующих задержек каждый передатчик комплектуется на аппаратном или программном уровне управляемым ключом (УК), формирующим на входе передатчика из поступающего потока данных низкочастотные (НЧ) видеоимпульсы со скважностью, значительно превышающей единицу ( $Q > 1$ ). Управление ключом осуществляется с помощью низкочастотного генератора (ГНЧ), который задает длительность видеоимпульсов и частоту их следования, т.е. скважность  $Q$ . В результате на



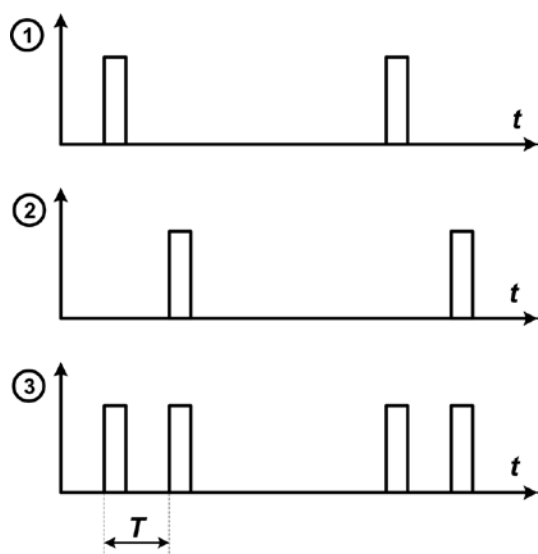


Рис. 7. Временные диаграммы, поясняющие методику измерения результирующих задержек в модуляторах

выходе модулятора формируются высокочастотные (ВЧ) радиоимпульсы со скажностью, задаваемой ГНЧ.

Сформированный сигнал подается на детекторы огибающих видео- и радиоимпульсов: на входе — на детектор низкой частоты (ДНЧ), а на выходе — на детектор высокой частоты (ДВЧ). Импульсы с выходов первого и второго детекторов поступают на логическую схему «ИЛИ», к выходу которой подключен осциллограф (ОСЦ), позволяющий измерять результирующую временную задержку  $T$  (рис. 7) информационного сигнала в модуляторе передатчика.

Воспользовавшись предложенным ранее методом настройки передатчиков, обеспечивающим фазовую синхронизацию информационного сигнала в передатчиках одночастотных сетей цифрового ТВ-вещания стандарта DVB-T2, а также представленным в данном разделе статьи способом измерения результирующих задержек, нетрудно провести калибровку передатчиков, предназначенных для работы в SFN второго поколения. По завершении настройки передатчиков сети, обеспечивающей их синхронную работу, в соответствии с представленным ранее алгоритмом можно перейти к анализу качества ТВ-вещания в зоне обслуживания.

**Заключение.** В статье рассмотрена специфика синхронизации информационного сигнала в одночастотных сетях ТВ-вещания первого и второго поколений. Представлен ме-

ханизм формирования метки времени в пакетах потока T2-MI, используемый для синхронизации передатчиков стандарта DVB-T2.

Предложен метод фазовой синхронизации информационного сигнала в передатчиках SFN цифрового ТВ-вещания стандарта DVB-T2, не требующий введения дополнительных задержек 1 rps. Метод представлен в виде алгоритма настроек передатчиков, имеющих разброс временных задержек информационного сигнала.

Разработан способ измерения задержек и их калибровки в передатчиках SFN, имеющих значительный разброс временных задержек обработки информационного сигнала при возможном разбросе задержек сигнала в каналах связи от центра мультиплексирования до входов возбуждателей.

Предложена схема измерений и калибровки результирующих временных задержек в модуляторах передатчиков стандарта DVB-T2, реализация которой возможна как на аппаратном, так и на программном уровне.

Данные исследования позволяют успешно реализовать предложенный авторами статьи метод настроек передатчиков, значительно упростить технологию пусконаладочных работ одночастотных сетей в стандарте DVB-T2, сократить время выполнения ФЦП «Развитие телерадиовещания в Российской Федерации на 2009–2015 годы».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Карякин В.Л.** Технология эксплуатации систем и сетей цифрового телевизионного стандарта DVB-T2. — М: Солон-Пресс, 2014. — 158 с.
2. **Карякин В.Л.** Цифровое телевидение: учеб. пособие для вузов. — М.: Солон-Пресс, 2013. — 448 с.
3. Measurement guidelines for DVB systems; Amendment for T2-MI (Modulator Interface); DVB Document A14-1, VI, 2012. — 16 p. / Электронный ресурс: [http://www.dvb.org/resources/public/standards/A14-1\\_Measurement\\_Guide\\_T2-MI.pdf](http://www.dvb.org/resources/public/standards/A14-1_Measurement_Guide_T2-MI.pdf) (дата обращения 12.05.2014).
4. **Калиновский Д.А., Карякин В.Л., Карякин Д.В., Сидоренко О.И.** Синхронизация передатчиков одночастотной сети стандарта DVB-T2 // Инфокоммуникационные технологии. — 2013. — Т. 11, № 4, с. 86–90.
5. **Дорохов С.Е.** NGN-мост между прошлым и будущим / Электронный ресурс: [http://www.rontel.ru/assets/files/press/InformKuryerSvyaz\\_92006.pdf](http://www.rontel.ru/assets/files/press/InformKuryerSvyaz_92006.pdf) (дата обращения 29.07.2014).
6. **Карякин В.Л.** Технологии цифрового ТВ вещания в мультисервисных сетях передачи данных: Монография / В.Л. Карякин, Д.В. Карякин, С.Г. Косенко / Под ред. В.Л. Карякина. — Самара: ПГУТИ, 2014. — 234 с.

Получено после доработки 16.07.14

#### ИНФОРМАЦИЯ

### «РОСТЕЛЕКОМ» ПОДДЕРЖИТ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДИТЕЛЯ

В инвестиционном бюджете «Ростелекома» в 2015 г. около 30% целевого объема закупаемого оборудования составит российское или локализованное оборудование спектрального уплотнения CWDM/DWDM на региональных сетях и оборудование сетей IP/MPLS уровня доступа и агрегации. Такое решение принято на заседании Технологического Совета компании,

где обсуждались мероприятия по поддержке импортозамещения и локализации производства оборудования и ПО сетей связи.

Технологический Совет выработал ряд рекомендаций, направленных на недопущение моновендорности сети, определил потенциальные области применения оборудования и составил предварительный список кандидатов для оценки

готовности к участию в программах локализации.

С марта 2014 г. в «Ростелекоме» постоянно действует Рабочая группа по разработке и контролю реализации программы поддержки российских производителей. По результатам работы Технологического Совета принято решение привлечь в состав Рабочей группы внешних экспертов.