

Клиент-серверная система мониторинга качества ТВ-вещания в России

В.Л. Карякин

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики
443010, Россия, г. Самара,
ул. Л. Толстого, 23

Аннотация – В стратегии развития телерадиовещания в Российской Федерации до 2025 года особо указывается на необходимость обеспечения надежности бесперебойного телерадиовещания. Качество телерадиовещания стандарта DVB-T2 оценивается скоростью передачи данных и запасом устойчивости по коэффициенту битовых ошибок BER (Bit Error Ratio) «на последней миле» в зонах вещания ретрансляторов. Предлагаемая в статье распределенная клиент-серверная система мониторинга качества вещания в РФ использует необходимое оборудование, включая датчики битовых ошибок BER на базе программируемых приемников в сочетании с одноплатными микрокомпьютерами, реализованными на SoC-процессорах. Сбор и обработка данных в областях вещания с помощью предлагаемой системы мониторинга позволит специалистам, занимающимся на практике развитием сетей, дать объективное заключение о необходимости и путях реконструкции сетей SFN для обеспечения бесперебойного телерадиовещания в РФ. Модернизация и техническое перевооружение сетей SFN обеспечат решение проблем, связанных с сертификацией спутниковых земных станций и передатчиков сетей SFN, предоставлением различных сервисов и услуг телерадиовещания стандарта DVB-T2 населению с высоким качеством.

Ключевые слова – ТВ-вещание; клиент-серверная система мониторинга качества; диагностика; программируемые приемники; сеть SFN; запас устойчивости; бесперебойное вещание.

Введение

Качество телерадиовещания стандарта *DVB-T2* оценивается скоростью передачи данных и запасом устойчивости по коэффициенту битовых ошибок *BER* (*Bit Error Ratio*) «на последней миле» в зонах вещания ретрансляторов [1]. В качестве датчика битовых ошибок предлагается использовать приемник [2], реализованный на основе стандартного коммерческого чипа Sony *SMT-EW100* (*CXD2880*), в котором имплементирован функционал *DVB-T2* ТВ-тюнера (рис. 1). ТВ-тюнер позволяет выделить из принимаемого потока *T2-MI* помимо значений *BER* текущие значения других параметров, необходимых для всестороннего анализа качества приема в исследуемой зоне телевизионного вещания.

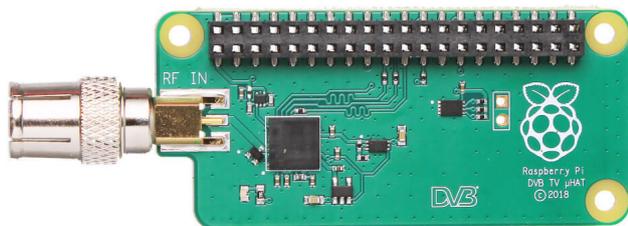


Рис. 1. Плата прототипирования на основе чипа Sony *SMT-EW100* (*CXD2880*)

Fig. 1. Prototyping board based on Sony *SMT-EW100* chip (*CXD2880*)

В стратегии развития телерадиовещания в Российской Федерации до 2025 года [3] особо указывается на необходимость обеспечения надежности бесперебойного телерадиовещания. В работе [4] обсуждаются основные проблемы развития региональных сетей, без решения которых невозможно обеспечить надежное и бесперебойное телерадиовещание в РФ.

Кратко перечислим основные проблемы в современном телерадиовещании РФ.

1. Отсутствие сертификации передатчиков, находящихся в эксплуатации на территории 85 регионов России.

2. Отсутствие возможности в полной мере реализовать на практике стандарт *DVB-T2*, в котором по каждому параметру, включая защитный интервал, зависящий от расположения передатчиков на территории вещания, предлагается выбор до восьми значений.

3. Третья проблема существующих сетей – низкая надежность, обусловленная, прежде всего, перечисленными выше факторами, а также значительным усложнением ретрансляторов, работающих удаленно от регионального центра мультиплексирования.

4. Отсутствие технической возможности оценки запасов устойчивости сети, что неизбежно приводит к неопределенности при оценке ее ра-

ботоспособности в процессе эксплуатации и к сложности оперативной оценки причин возникновения брака и технических остановок. Это, в свою очередь, приводит к тому, что операторы решают проблемы **реактивно** – узнают о локальных проблемах в работе сетей от телезрителей по горячей линии, а о глобальных проблемах – при полной или частичной остановке вещания. При этом диагностика не является объективной, т. к. служба эксплуатации не владеет гарантированной и достоверной информацией обо всех инцидентах – большинство потребителей просто не сообщает о проблемах или сообщает со значительным запозданием.

Решение данных проблем возможно путем модернизации и технического перевооружения существующих сетей телерадиовещания на основе научного подхода с целью предоставления различных сервисов и услуг населению с высоким качеством.

Инновационный путь решения проблем цифрового ТВ изложен в ряде научных статей и обобщен в [1], в преамбуле которой предлагаются отечественные технологии, защищенные патентами РФ.

Первым и ключевым этапом решения задачи повышения надежности системы телерадиовещания является диагностика работоспособности региональных сетей *SFN* путем мониторинга [5]. Такой подход позволит перейти с реактивного на проактивное разрешение технических проблем, до момента возникновения факта обращения конечного потребителя в службу технической поддержки.

Отмечается, что способы и устройства мониторинга, запатентованные в РФ [6; 7], позволяют провести диагностику запасов устойчивости сетей *SFN*, выявить и устранить причины отсутствия необходимых запасов устойчивости, перейти к параметрической оптимизации *SFN*, обеспечивающей заданную скорость передачи данных и требуемый запас устойчивости.

В статье рассмотрен прототип системы только для пилотной зоны, которая в дальнейшем может быть масштабирована на все регионы РФ для комплексной диагностики работоспособности сетей *SFN*.

Целью данной работы является развитие предлагаемого в патентах [6; 7] технического решения для обеспечения надежного и бесперебойного телерадиовещания в стандарте *DVB-T2* на всей территории РФ с использованием необходимого оборудования и распределенной клиент-серверной архитектуры, датчиков коэффициента битовых ошибок *BER* на основе программируемых приемников, совмещенных с одноплатными микроком-

пьютерами, реализованными на процессорах *SoC (System-on-Chip)*.

Актуальность цели, сформулированной в данной статье по развитию технического решения, запатентованного в РФ [6; 7], для обеспечения надежного и бесперебойного телерадиовещания в стандарте *DVB-T2* на всей территории РФ, подтверждается стратегией развития телерадиовещания в Российской Федерации до 2025 года [3], а также соответствием целям и задачам «Стратегии развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года» [8].

Стратегия развития электронной промышленности РФ направлена, в частности, на оптимизацию существующего телекоммуникационного оборудования, его модернизацию и техническое перевооружение на основе научного подхода к решению новых технологических направлений и технологий с целью предоставления различных сервисов и услуг населению с высоким качеством.

1. Общие сведения о платформе мониторинга

Применение распределенной клиент-серверной архитектуры для реализации платформы системы мониторинга позволяет масштабировать количество пробников – приемников *DVB-T2*, терминировать и анализировать данные в центрах обработки данных и обеспечить отказоустойчивый доступ к данным всем заинтересованным лицам компании Российской телевизионной и радиовещательной сети (рис. 2). Здесь МП – мультиплексор, ЦОД – центр обработки данных.

Разрабатываемая платформа преимущественно использует компоненты и библиотеки свободного программного обеспечения с открытым исходным кодом для обеспечения сбора, обработки, анализа данных работоспособности региональных сетей телерадиовещания, а также позволяет визуализировать интегральную информацию для операторов, реализовать триггеры оперативного оповещения в случае детектирования в штатных ситуациях.

В основе пробника используется операционная система *Linux* с модулями ядра *DVB* для взаимодействия с ТВ-тюнером, которая является источником исходных данных состояния *DVB-T2* потока. Непрерывный и постоянный мониторинг связан с генерацией специфичных данных, которые требуют агрегации, хранения и последующего анализа. В прототипе системы для хранения

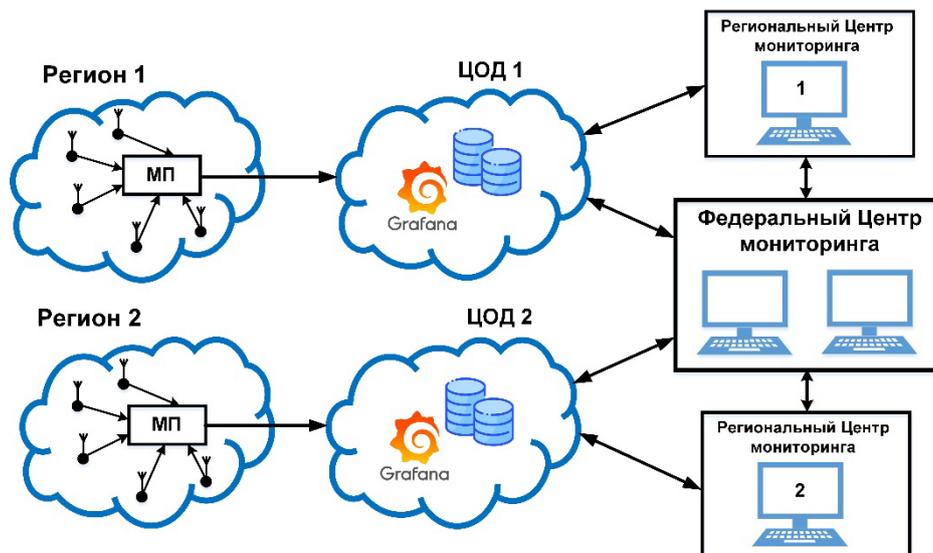


Рис. 2. Клиент-серверная архитектура платформы мониторинга
Fig. 2. Client-server architecture of the monitoring platform

данных предлагается использовать базу данных временных рядов (*time series database*) *InfluxDB* [9], которая оптимизирована для хранения и обслуживания данных через связанные пары времени и значения. База данных написана на языке программирования *Go* и не требует внешних зависимостей. Основным назначением является хранение больших объемов данных с метками времени, которые предназначены для таких приложений, как данные мониторинга, метрики приложений, данные датчиков *IoT*. База данных отлично масштабируется с применением контейнеризации.

Для визуализации данных предлагается использовать инструмент *Grafana* – мультиплатформенное веб-приложение для аналитики и интерактивной визуализации с открытым исходным кодом [10; 11]. Приложение поддерживает множество вариантов анализа и обработки данных, а также позволяет применить собственные алгоритмы и формулы.

Приложения хранения, анализа и визуализации данных могут использовать как выделенные вычислительные ресурсы в частных центрах обработки данных (ЦОД), так и универсальные облачные платформы, такие как российские «Яндекс.Облако», *VK Cloud Solutions* (ранее *Mail.ru Cloud Solutions*) или зарубежные *Amazon Web Services (AWS)*, *Microsoft Azure*, *Google Cloud Platform (GCP)* и другие.

Панели мониторинга (рис. 2) не только придают информативное значение данным в графическом виде [10], собранным из различных регионов РФ, но и позволяют контролировать качество вещания

в онлайн-режиме из Федерального центра формирования мультиплексов.

Предлагаемая методика мониторинга [6; 7] дает возможность создавать информационные панели в каждом из 85 региональных центров мультиплексирования и делиться результатами качества телерадиовещания, чтобы способствовать сотрудничеству в управлении работой региональных сетей *SFN*.

Платформа сочетает в себе масштабируемость, отказоустойчивость, производительность и обеспечивает сохранность данных, поступающих из приемников *DVB-T2* ТВ-тюнеров. Пробники системы мониторинга выделяют из потока *T2-MI* помимо значений *BER* текущие значения других параметров, которые необходимы для всестороннего анализа качества приема в исследуемой зоне телевизионного вещания.

Взаимодействие между пробниками и центром обработки данных обеспечивается через структурированный интерфейс взаимодействия *REST API (Representational State Transfer Application Programming Interface)* с использованием шифрованного транспорта *HTTPS* с поддержкой криптографического протокола *TLS* поверх публичной интернет-сети. Особое внимание уделяется безопасности взаимодействия пробников и коллекторов сбора данных: предлагается механизм аутентификации каждого устройства, чтобы избежать обогащения недостоверными данными и искажения работы системы в целом.

Цифровое телевидение – это развивающаяся область, в которой постоянно разрабатываются и

становятся доступными новые чипсеты, ресиверы цифрового телевидения и программное обеспечение. Предлагаемое техническое решение является универсальным и адаптированным к технологическим достижениям. Благодаря модульной архитектуре как программного обеспечения, так и аппаратной части, существует возможность оперативного обновления только необходимых компонент для удовлетворения текущих потребностей существующей инфраструктуры мониторинга региональных сетей *SFN*.

2. Техническая реализация датчиков BER

Прототип датчиков *BER* (пробников) реализован с использованием программируемых приемников на базе чипа ТВ-тюнера *Sony SMT-EW100 (CXD2880)* и микрокомпьютера на основе 64-битного 4-ядерного ARM микропроцессора *Broadcom BCM2711*. Взаимодействие ТВ-тюнера с микропроцессором осуществляется через шину *SPI (Serial Peripheral Interface)*, по которой передается поток *MPEG-2 TS*. Встроенный в ТВ-тюнер фильтр *Packet ID (PID)* уменьшает скорость передачи данных и делает возможным применение *SPI*-шины.

Программный стек пробника состоит из компонент, которые можно принципиально разделить на два уровня: ядра (*Kernel Linux Space*) операционной системы (ОС) и пользовательского пространства (*User Space*). На уровне ядра ОС применяется драйвер аппаратной шины *SPI*, драйвер взаимодействия с чипом *CXD2880* и универсальный модуль *DVB API*. На уровне пользовательского пространства выделяются два приложения: агент сбора данных о состоянии цифрового *DVB*-потока (включая *BER*) и опционально – сервер потокового вещания. В диагностических целях микрокомпьютер позволяет декодировать и выводить изображение непосредственно на монитор. Однако предполагается внедрение пробников без какого-либо периферийного оборудования, таких как монитор, клавиатура, мышь и прочие атрибуты взаимодействия.

Инструментарий пробника имеет гибкие возможности для конфигурации приемника, получения значений параметров на его выходе, работающего в качестве датчика коэффициентов битовых ошибок *BER* и других важных параметров работы одночастотной сети телерадиовещания. Кроме того, устройство обеспечивает сбор данных теле-

метрии и потоковую передачу видеопотока в точке присутствия пробника ровно в том виде, в котором его получают конечные потребители, для последующей обработки и/или выборочно визуальной оценки в Федеральном центре мониторинга и управления платформы мониторинга (рис. 2) эксплуатирующей компании *РТПС* – Российской телевизионной и радиовещательной сети, а также филиалах контролирующей компании *ГРЧЦ* – Главного радиочастотного центра. Обе компании заинтересованы в достоверной информации об устойчивой и бесперебойной работе сетей телерадиовещания России, включая «последнюю милю». Специфика цифрового телевидения заключается в том, что передатчики в зонах вещания могут излучать номинальную мощность, а прием у некоторых телезрителей отсутствует по разным причинам. Система позволит достоверно дифференцировать и локализовать проблему, которая может быть как со стороны телезрителя, так и со стороны центров вещания. При этом важным фактором является поиск первопричины неисправности, который в большинстве случаев ошибочно приводит к неисправности бытового оборудования телезрителей из-за стереотипного подхода диагностики аналогового телевизионного приема, когда фактически происходит локальный сбой передающего оборудования.

Для вывода информации от датчика битовых ошибок в системе применяется специальный инструмент, который может быть использован для изменения некоторых параметров, для получения текущих настроек. Имеется возможность считывания исходной статистики работы чипа ТВ-тюнера во время приема телевизионных программ с ее последующей графической обработкой.

В качестве примера на рис. 3 приводятся значения $Kber = \lg(1/BER)$ во время воспроизведения видеопотока приемником на интервале 10 с в непосредственной близости от порога устойчивости с запасом менее одного дБ. На интервалах менее 10 с изображение визуально устойчиво, однако при увеличении времени приема на картинке иногда появляются артефакты и искажения – изображение «рассыпается на квадраты и пиксели», либо вовсе происходит полное замораживание.

Учитывая непостоянство во времени $Kber$, для надежного и бесперебойного приема необходимо запас устойчивости увеличить до значений 5–6 дБ.

Анализ полученных результатов, представленных на рис. 3, и визуализация данных состояния на индикаторной панели позволяют количествен-



Рис. 3. Временная зависимость показателя качества при запасе устойчивости менее одного дБ
Fig. 3. Time dependence of the quality index with a stability margin of less than one dB

но судить о качестве приема в одной из зон вещания. Сбор и обработка данных в областях вещания с помощью предлагаемой платформы мониторинга (рис. 2) позволят специалистам РТРС, занимающимся на практике развитием сетей, с учетом рекомендаций [1] дать объективное заключение о необходимости и путях реконструкции сетей *SFN* для обеспечения бесперебойного телерадиовещания в РФ.

Кроме того, специалисты РТРС и РЧЦ смогут перейти с **реактивного** на **проактивное** разрешение технических проблем, до момента возникновения факта обращения конечного потребителя в службу технической поддержки, получить область затронутых проблемой телезрителей и таким образом оценить приоритет при принятии решении распределения инженерных ресурсов, дифференцировать обращения со стороны телезрителей по причине неработоспособности собственного бытового оборудования приема или по причине неработоспособности сети *SFN* в локальной зоне вещания, в конечном итоге снизить нагрузку как на службу технической поддержки, так и на инженерный состав эксплуатирующего персонала. В результате, несомненно, можно повысить качество предоставляемых услуг и оперативность устранения возникающих проблем

Заключение

1. Разработка распределенной системы мониторинга качества телерадиовещания стандарта

DVB-T2 является первостепенной задачей по завершении Федеральной целевой программы «Развитие телерадиовещания в Российской Федерации на 2009-2018 годы» и переходу в штатный режим эксплуатации сетей *SFN*.

2. Актуальность цели, сформулированной в данной статье по развитию технического решения, защищенного патентами РФ [6; 7] для обеспечения надежного и бесперебойного телерадиовещания в стандарте *DVB-T2* на всей территории РФ, подтверждается стратегией развития телерадиовещания в Российской Федерации до 2025 года [3], а также соответствием целям и задачам «Стратегии развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года» [8].

3. Предлагаемая методика мониторинга с использованием распределенной клиент-серверной архитектуры, в которой датчики коэффициентов битовых ошибок *BER* выполнены на основе программируемых приемников, совмещенных с одноплатными микрокомпьютерами, позволит специалистам РТРС перейти с реактивного на проактивное разрешение технических проблем, до момента возникновения факта обращения конечного потребителя в службу технической поддержки.

4. Сбор и обработка данных в областях вещания с помощью предлагаемой платформы мониторинга (рис. 2) позволят специалистам РТРС, занимающимся на практике развитием сетей, с учетом рекомендаций [1] дать объективное заключение о необходимости и путях реконструкции сетей *SFN* для обеспечения бесперебойного телерадиовещания в РФ.

5. Оптимизация существующего телекоммуникационного оборудования, его модернизация и техническое перевооружение на основе научного подхода к оценке работоспособности сетей *SFN* [8] обеспечат решение перечисленных выше проблем [4], связанных с сертификацией передатчиков, реализацией возможностей стандарта по выбору оптимальных параметров *SFN*, повышению надежности вещания, предоставлению различных сервисов и услуг телерадиовещания стандарта *DVB-T2* населению с высоким качеством.

Список литературы

1. Карякин В.Л. Цифровое телевидение. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Солон-Пресс, 2020. 460 с.
2. Sony Commercializes World's First 1 Demodulator LSI for «DVB-T2». URL: <https://www.sony.com/en/SonyInfo/News/Press/201001/10-004E/>
3. Стратегия развития телерадиовещания в Российской Федерации до 2025 года. URL: http://www.congress-nat.ru/data/documents/P_4.pdf

4. Карякин В.Л. Пути развития региональных сетей стандарта DVB-T2 в России // Электросвязь. 2021. № 3. С. 50–54. DOI: <https://doi.org/10.34832/ELSV.2021.16.3.009>
5. Sushko I.V., Karyakin V.L. Diagnostics of sustainability of SFN networks – The first step to solving the problem of high-quality TV broadcasting in Russia // 2019 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO). 2019. P. 1–4. DOI: <https://doi.org/10.1109/SYNCHROINFO.2019.8814053>
6. Патент РФ № 2649415. Региональная сеть цифрового ТВ-вещания стандарта DVB-T2 / В.Л. Карякин, Д.В. Карякин, Л.А. Морозова. Заявл. 10.04.2017, опубл. 03.04.2018, бюл. № 10.
7. Патент РФ № 2595945. Способ оценки качества канала передачи данных в системе IPTV по коэффициенту BER в режиме вещания и устройство для его осуществления / В.Л. Карякин, Д.В. Карякин, Л.А. Морозова. Заявл. 10.04.2015, опубл. 27.08.2016, бюл. № 24.
8. Стратегия развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года. URL: <http://static.government.ru/media/files/1QkfNDghANiBUNBbXaFBM69Jxd48ePeY.pdf>
9. InfluxDB is the time series platform. URL: <https://www.influxdata.com/>
10. Compose and scale observability with one or all pieces of the stack. URL: <https://grafana.com/>
11. Маратканов А.С., Суханов А.А., Воробьева А.А. Средства анализа и визуализации метрик работы приложения // International Scientific Review of the Problems and Prospects of Modern Science and Education: Collection of Scientific Articles of LIX International Correspondence Scientific and Practical Conference. 2019. С. 41-43. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sredstva-analiza-i-vizualizatsii-metrik-raboty-prilozheniya>

References

1. Karyakin V.L. *Digital Television*; 3rd ed., rev. and add. Moscow: Solon-Press, 2020, 460 p. (In Russ.)
2. Sony Commercializes World's First1 Demodulator LSI for «DVB-T2». URL: <https://www.sony.com/en/SonyInfo/News/Press/201001/10-004E/>
3. Strategy for the development of television and radio broadcasting in the Russian Federation until 2025. URL: http://www.congress-nat.ru/data/documents/P_4.pdf (In Russ.)
4. Karyakin V.L. Ways of development of regional DVB-T2 networks in Russia. *Elektrosvyaz'*, 2021, no. 3, pp. 50–54. DOI: <https://doi.org/10.34832/ELSV.2021.16.3.009> (In Russ.)
5. Sushko I.V., Karyakin V.L. Diagnostics of sustainability of SFN networks - The first step to solving the problem of high-quality TV broadcasting in Russia. *2019 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)*, 2019, pp. 1–4. DOI: <https://doi.org/10.1109/SYNCHROINFO.2019.8814053>
6. Patent RF No. 2649415. Regional network of digital TV broadcasting of the DVB-T2 standard / V.L. Karyakin, D.V. Karyakin, L.A. Morozova. Appl. 10.04.2017, publ. 03.04.2018, bul. no. 10.
7. Patent RF No. 2595945. A method for assessing the quality of a data transmission channel in an IPTV system by the BER coefficient in broadcast mode and a device for its implementation / V.L. Karyakin, D.V. Karyakin, L.A. Morozova. Appl. 10.04.2015, publ. 27.08.2016, bul. no. 24.
8. Strategy for the development of the electronic industry of the Russian Federation for the period up to 2030. URL: <http://static.government.ru/media/files/1QkfNDghANiBUNBbXaFBM69Jxd48ePeY.pdf> (In Russ.)
9. InfluxDB is the time series platform. URL: <https://www.influxdata.com/>
10. Compose and scale observability with one or all pieces of the stack. URL: <https://grafana.com/>
11. Maratkanov A.S., Sukhanov A.A., Vorobieva A.A. Tools for analyzing and visualizing application performance metrics. *International Scientific Review of the Problems and Prospects of Modern Science and Education: Collection of Scientific Articles of LIX International Correspondence Scientific and Practical Conference*, 2019, pp. 41-43. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sredstva-analiza-i-vizualizatsii-metrik-raboty-prilozheniya> (In Russ.)

Physics of Wave Processes and Radio Systems 2022, vol. 25, no. 3, pp. 36–42

DOI 10.18469/1810-3189.2022.25.3.36-42

Received 30 March 2022

Accepted 5 May 2022

Client-server system for monitoring the quality of TV broadcasting in Russia

Vladimir L. Karyakin

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics
23, L. Tolstoy Street,
Samara, 443010, Russia

Abstract – The strategy for the development of television and radio broadcasting in the Russian Federation until 2025 specifically states the need to ensure the reliability of uninterrupted television and radio broadcasting. The quality of DVB-T2 broadcasting is estimated by the data transmission rate and the bit error rate BER (Bit Error Ratio) stability margin «at the last mile» in the retransmitters' broadcast zones. The distributed client-server system of broadcast quality monitoring in RF, proposed in the article, uses the necessary equipment, including BER sensors based on programmable receivers combined with single-board microcomputers implemented on SoC processors. Collection and processing of data in broadcasting areas with the help of the proposed monitoring system will allow specialists engaged in practical network development to make an objective conclusion about the necessity and ways of SFN network reconstruction to provide uninterrupted TV and radio broadcasting in RF. Modernization and technical re-equipment of SFN networks will provide a solution to the problems related to certification of satellite earth stations and transmitters of SFN networks, provision of various services and broadcasting services of DVB-T2 standard to the population with high quality.

Keywords – TV broadcasting; client-server quality monitoring system; diagnostics; programmable receivers; SFN network; stability reserve; uninterrupted broadcasting.

Информация об авторе

Карякин Владимир Леонидович, доктор технических наук, профессор Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, г. Самара, Россия. Действительный член академии Телекоммуникаций и информатики и действительный член IEEE. Занимается внедрением новых технологий в информационные системы, сети, телекоммуникационные устройства и цифровое телевидение, разработкой средств дистанционного образования, САПР радиотехнических устройств.

Область научных интересов: внедрение новых технологий в информационные системы, сети, телекоммуникационные устройства и цифровое телевидение, разработка средств дистанционного образования, САПР инфокоммуникационных систем и устройств, сетей цифрового телевизионного вещания.

E-mail: vl@karyakin.ru

Information about the Author

Vladimir L. Karyakin, Doctor of Technical Sciences, professor of the Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia. He is a full member of the Academy of Telecommunications and Informatics and a full member of IEEE. He is engaged in the introduction of new technologies in information systems, networks, telecommunications devices and digital television, the development of distance education, CAD radio devices.

Research interests: introduction of new technologies in information systems, networks, telecommunication devices and digital television, development of distance education tools, CAD for infocommunication systems and devices, digital television broadcasting networks.

E-mail: vl@karyakin.ru

Неганов, В.А.

Теория и применение устройств СВЧ: учебн. пособие для вузов / В.А. Неганов, Г.П. Яровой; под ред. В.А. Неганова. – М.: Радио и связь, 2006. – 720 с.



ISBN 5-256-01812-4

УДК 621.396.67

ББК 32.840

Н 41

В учебном пособии рассматриваются методы проектирования и конструктивной реализации устройств СВЧ: линий передачи различных видов, резонаторов, согласующих и трансформирующих устройств, фильтров, фазовращателей, аттенюаторов, тройниковых соединений, направленных ответвителей, различных мостовых соединений, ферритовых устройств (вентилей, циркуляторов, фазовращателей) и СВЧ-устройств на полупроводниковых диодах (умножителей, смесителей, переключателей, выключателей). Приводятся примеры применения устройств СВЧ в радиосвязи, радиолокации, измерительной аппаратуре и т. д. В книгу вошел оригинальный материал, полученный авторами. Учебное пособие может использоваться как справочник по устройствам СВЧ.

Для специалистов в области теории и техники СВЧ, преподавателей вузов, докторантов, аспирантов, студентов старших курсов радиотехнического и радиофизического профиля.