

V. I. Vakas, N. V. Fedorova, D. A. Diomin

MEASUREMENTS OF PARAMETERS STABILITY OF SYNCHRONIZATION SIGNALS IN PACKAGE NETWORKS

In article the main methods measurements of parameters stability of synchronization signals in package networks are considered. The analysis of available measuring equipment is carried out. The key are specified the new measured parameters. Results of measurements on a real network are reported.

Keywords: synchronization; package networks; measurement of parameters stability; PDV (Packet Delay Variation); MAFE (Maximum Average Frequency Error).

УДК 621.396.662.072.078

В. Я. КАЗИМИРЕНКО, канд. техн. наук,
Государственный университет телекоммуникаций, Киев

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИФРОВИЗИРОВАННЫХ АНАЛОГОВЫХ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ СТАНЦИЙ: ВЫБОР КОМБИНИРОВАННОЙ МОДУЛЯЦИИ И ФОРМИРОВАТЕЛЯ ЦИФРОВОГО ПОТОКА

Раскрыты механизмы значительного повышения спектральной, энергетической и экономической эффективности цифровизации линий на основе аналоговых радиорелейных станций и даны рекомендации по их использованию.

Ключевые слова: аналоговая радиорелейная линия; алгоритмическая модель передающего и приемного трактов; частотная модуляция; демодулятор; отношение сигнал/помеха; формирователь цифрового потока; каналы DVB-C и DVB-T.

Введение

Сравнение цифровых радиорелейных линий (РРЛ) и РРЛ, в которых цифровой контент передается в аналоговом формате, убедительно доказывает эффективность цифровизации линий на основе аналоговых радиорелейных станций (РРС). Ведь существующие технические решения [1–6] позволяют использовать практически все оборудование аналоговой РРС, к которому прилагается формирователь промодулированного цифрового потока с последующей частотной модуляцией (ЧМ) в передающем тракте и частотной демодуляцией в приемном тракте.

Основная часть

Использование алгоритма, базирующегося описанной в [10] модели, позволило получить ряд важных результатов.

Показано, что при использовании комбинированной модуляции в канале связи наряду с помехами, влияние которых достаточно точно предсказуемо, действуют факторы, не регламентированные для аппаратуры по передаче информации в аналоговом формате (например, фазовый джиттер). Некоторые параметры не удовлетворяют требованиям при передаче цифрового потока. В частности, нестабильность частоты при передаче аналогового телевидения нормируется на уровне 10^{-5} , а при передаче потока QAM-64 требуется 10^{-6} .

Уровень нерегламентированных мешающих факторов (МФ) может изменяться в процессе эксплуатации, в том числе за счет износа оборудования.

В принципе, воздействие таких МФ на частотно модулированный (ЧМ) сигнал вносит в него искажения, которые не приводят к существенному ухудшению качества аналогового телевизионного контента. Однако искажения в ЧМ сигнале могут стать причиной искажений символов, полученных в результате цифровой модуляции, что повлечет

за собой недопустимые ошибки после цифровой демодуляции и потребует специальных мероприятий для восстановления качества.

Рассматривалось использование модуляции 16-QAM и 64-QAM.

Анализ влияния регламентированных факторов на гауссов канал связи показывает, что в случае применения первичной модуляции 16-QAM, если выполнен комплекс процедур по подавлению фиксированных и прочих помех, достигается выигрыш в требуемом отношении мощности сигнала к мощности шума на входе приемного устройства и создается запас помехоустойчивости, составляющий 8...9 дБ, по сравнению с передачей аналогового сигнала. При этом снижается значение пикфактора, т. е. обеспечивается достаточная помехоустойчивость на пролете РРЛ, практически равная помехоустойчивости аналогового канала связи при минимуме мешающих факторов.

При использовании модуляции 64-QAM указанный запас снижается до 2...3 дБ. И хотя использование данной модуляции в принципе позволяет организовать передачу по многопролетной РРЛ, все же из-за малого запаса даже при условиях, близких к идеальным, воздействие ряда МФ может создать условия, неприемлемые для качественной передачи.

В число таких МФ, влияние которых может резко ухудшить качество передачи, входят нерегламентированные факторы, способные исказить картину (по крайней мере, на нескольких интервалах РРЛ) в соответствии с помехами рефракционного или интерференционного типа.

В процессе исследований проведено сравнение характеристик передачи каналов DVB-C и DVB-T. Это имело смысл, поскольку по каналу DVB-T, использующему модуляцию COFDM, в принципе осуществима передача телевизионного контента,

транспортного потоку. Більше того, можлива якісна передача в умовах впливу отражених (ехо) сигналів.

Розглядалась залежність швидкості передачі інформаційного потоку (bit rate) в смузі 8 МГц від швидкості кодування при різних значеннях захисного інтервалу в стандарті DVB-T і в стандарті DVB-C.

Сравнение пропускной способности каналов DVB-C и DVB-T

Результат представлен на рис. 1, где по оси ординат отложены значения пропускной способности, а по оси абсцисс — значения кодовой скорости.

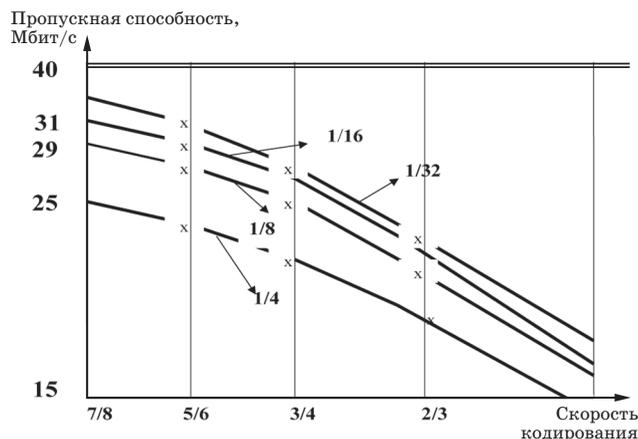


Рис. 1. Зависимость пропускной способности канала связи от конфигурации формирователя цифрового потока для различных интервалов ($\frac{1}{4}, \frac{1}{8}, \frac{1}{16}, \frac{1}{32}$) в стандарте DVB-T (двоєдина пряма характеризує пропускну здатність каналу DVB-C)

Сравнение помехоустойчивости каналов DVB-C и DVB-T

Зависимость помехозащищенности от скорости кодирования для различных моделей канала DVB-T и канала DVB-C (модуляция 64-QAM, код Рида – Соломона, 188; 204; 16) иллюстрируют графики, приведенные на рис. 2, где по оси ординат отложено отношение С/Ш, а по оси абсцисс — скорость внутреннего кодирования для DVB-T. Двоєдина пряма характеризує отношение С/Ш на входе демодулятора для канала DVB-C, при котором на цифровом выходе будет квазидезобидна послідовність ($BER = 10^{-12}$).

Как видим, каналы DVB-T и DVB-C имеют важные различия:

- спектральная ефективність каналу DVB-T значимо нижче спектральної ефективності каналу DVB-C, прежде всего за счет защитных интервалов и избыточности кодирования (разность превышает 10 дБ);

- энергетическая эффективность каналу DVB-T несколько выше, чем DVB-C, благодаря использованию каскадного кодирования. В частности, в конфигурации с минимальной разностью значе-

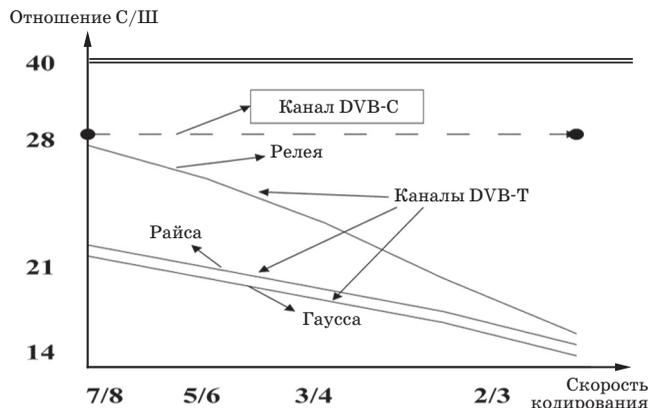


Рис. 2. Помехоустойчивость различных моделей канала DVB-T и канала DVB-C

ний спектральной эффективности (около 10 дБ) разность по энергетической эффективности составляет около 1 дБ.

Определение влияния нерегламентированных МФ оборудования РРЛ

Пусть в результате определения помеховой обстановки выяснено следующее.

На входе приемного тракта действует сигнал-подобная помеха в полосе сигнала, подавленная на 30 дБ.

При коэффициенте модуляции, равном 0,11, отношение С/Ш на входе цифрового демодулятора будет на 15 дБ меньше, чем на входе аналогового демодулятора ЧМ.

При использовании модуляции 64-QAM на входе этого демодулятора требуется отношение С/Ш на уровне около 30 дБ, т. е. ЧМ не меньше 45...50 дБ.

Наличие сложной помеховой ситуации может существенно уменьшить запас помехозащищенности при построении ретрансляционных линий большой длины за счет накопления препятствий (гауссовых, фиксированных и др.).

Влияние нерегламентированных МФ и несоответствие их параметров требованиям цифровой передачи также может значительно сократить применимость такой технологии.

Накапливание искажений по трассе рассчитывается по известным методикам, и это позволяет определить длину пролетов, а также их число, после которого следует выполнить возобновление (регенерацию) цифрового потока, осуществляемое обычно на основании полученной исходной последовательности с дальнейшей ее повторной модуляцией. Если предусмотрено использование имеющейся инфраструктуры, то выполняется проверка качества передачи на имеющихся мачтах и трактах.

Вклад оборудования РРЛ в искажение сигнала следует измерять на каждом интервале (например, по предложенной методике).

Имеет смысл остановиться на требованиях к таким нерегламентированным факторам, как нестабильность частоты несущей и ее джиттер.

По первому фактору несоответствие составляет: для аналогового ТВ — 500 Гц, для цифрового — 100 Гц. Допустимая ошибка оценки фазы колебания (64-QAM, вероятность ошибки — 10^{-6}) для реализации потерь энергии 0,5 дБ не должна превышать 1° .

Что же касается джиттера несущей, то он в РРС не нормируется и для 64-QAM по критерию «отношение сигнал/эквивалентный гауссов шум» должен пребывать на уровне энергетических потерь не менее 40 дБ. Здесь понятие «эквивалентный гауссов шум» трактуется как аддитивное энергетическое влияние, эквивалентное объединенному влиянию всех причин, вызывающих джиттер несущей.

Выводы

Цифровизация аналоговой РРС с использованием комбинированной модуляции (в качестве первичной — цифровая DVB-C, а в качестве вторичной — аналоговая частотная ЧМ) имеет следующие преимущества:

- передается больший объем информации в одинаковом частотном ресурсе (повышается спектральная и информационная эффективность) по сравнению с каналом, использующим только ЧМ (канал передачи в аналоговом формате);
- используется аппаратура и вводятся в действие наличные средства аналоговых РРС (управление, резервирование и пр.);
- применяется мачтовое оборудование;
- снижается пикфактор сигнала, а значит, и стоимость передающих трактов;
- сохраняется существующая сеть РРЛ.

Литература

1. Система передачи многопрограммного телевизионного потока и цифрового потока данных по каналам аналоговых радиорелейных линий / [М. Е. Ильченко, Т. Н. Нарытник, А. Г. Войтенко и др.] // *Электросвязь*. — 2008. — №3. — С. 10–14.

2. Ильченко, М. Е. Использование метода комбинированной модуляции в микроволновых телекоммуникационных системах передачи данных / М. Е. Ильченко, Т. Н. Нарытник, В. М. Илюшко // *Радиоэлектронні і комп'ютерні системи*. — 2009. — №2 (36). — С. 71–77.

3. Нарытник, Т. Н. Система передачи многопрограммного телевизионного потока и цифрового потока данных «Еврика-BBB» по каналам аналоговых радиорелейных линий / Т. Н. Нарытник, А. Г. Войтенко, В. В. Мироненко: материалы XVII Междунар. Крым. конф. КрыМиКо-2007 «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». — Т. 1. — С. 296–299.

4. Ильченко, М. Е. Особенности модернизации радиорелейных линий в Украине / М. Е. Ильченко, В. Я. Казимиренко, Т. Н. Нарытник: материалы XIX Междунар. Крым. конф. КрыМиКо-2009 «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». — Т. 1.

5. Пат. України на корисну модель №26838 від 10.10.2007 з пріоритетом від 17.05.2007. Система передачі даних по аналоговій радіорелейній лінії «Еврика-BBB» / М. Ю. Ильченко, Т. М. Нарытник, В. Я. Казимиренко, О. Г. Войтенко, В. В. Волков, В. В. Юрченко.

6. Пат. України на полезную модель №11635 от 16.01.2006 с приоритетом от 23.03.2005. Система передачи многопрограммного транспортного потока по каналам аналоговой радиорелейной линии «Еврика-КАМ ЧМ» / А. Г. Войтенко, В. Я. Казимиренко, Т. Н. Нарытник, В. И. Сватъев.

7. European Standard EN 300 429 v.1.2.1 (1998-04). Digital Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for cable systems.

8. Обробка сигналів у радіоканалах цифрових систем передавання інформації: навч. посібник / [В. П. Бабак, Т. М. Нарытник, Ю. В. Куц, В. Я. Казимиренко]. — К.: НАУ, 2005. — С. 476.

9. Скалин, Ю. В. Цифровые системы передачи / Ю. В. Скалин, А. Г. Бернштейн, А. Д. Финкевич. — М.: Радио и связь, 1988. — 272 с.

10. Казимиренко, В. Я. Цифровизация аналоговых радиорелейных линий: алгоритмическая модель / В. Я. Казимиренко // *Зв'язок*. — 2015. — № 5. — С. 44–45.

Рецензент: доктор техн. наук, профессор В. Г. Сайко, Государственный университет телекоммуникаций, Киев.

В. Я. Казимиренко

ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦИФРОВІЗОВАНИХ АНАЛГОВИХ РАДІОРЕЛЕЙНИХ СТАНЦІЙ: ВИБІР КОМБІНОВАНОЇ МОДУЛЯЦІЇ ТА ФОРМУВАННЯ ЦИФРОВОГО ПОТОКУ

Розкрито механізми значного підвищення спектральної, енергетичної та економічної ефективності цифровізації ліній на основі аналогових радіорелейних станцій і наведено рекомендації щодо їх використання.

Ключові слова: аналогова радіорелейна лінія; алгоритмічна модель передавального і приймального тракту; частотна модуляція; демодулятор; відношення сигнал/завада; формувач цифрового потоку; канали DVB-C і DVB-T.

V. Ya. Kazimirenko

VALUING OF DIGITALIZED ANALOG MICROWAVE STATIONS EFFECTIVENESS: CHOICE OF COMBINED MODULATION AND DIGITAL FLOWS FORMER

Mechanisms of significant increasing of spectral, energy and economic effectiveness of digitalized lines based on microwaves stations are opened and the recommendations with make use them are given.

Keywords: analog microwave line; algorithm model of transmission and reception path; frequency modulation; demodulator; signal-to-interference ratio; digital flow former; DVB-C and DVB-T channels.