

УДК 621.396.662.072.078

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

Цифровизация аналоговых радиорелейных линий: АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Показано, что при использовании для передачи цифровых потоков развернутых аналоговых радиорелейных линий достигается высокий эффект — как технический, так и экономический.

Ключевые слова: аналоговая радиорелейная линия; алгоритмическая модель передающего и приемного трактов.

Введение

Дальнейшее увеличение объема передаваемой цифровой информации, а также высокая стоимость развертывания линий передачи на базе современных цифровых технологий (SDH, PDH, линий ВОЛС) — это те факторы, с учетом которых имеет смысл использовать для передачи цифровых потоков, особенно в сельских и пригородных районах, развернутые аналоговые радиорелейные линии (РРЛ).

Цель статьи — дать оценку эффективности (как технической, так и экономической) цифровизации линий на основе существующих аналоговых радиорелейных станций (РРС).

Соответствующие технические решения отражены в публикациях [1–6] и запатентованы [5; 6]. Предлагаемые далее технические решения позволяют использовать практически все оборудование аналоговой РРС, дополненное формирователем промодулированного цифрового потока с последующей частотной модуляцией (ЧМ) в передающем тракте и частотной демодуляцией в приемном тракте средствами аналоговой РРС.

Основная часть

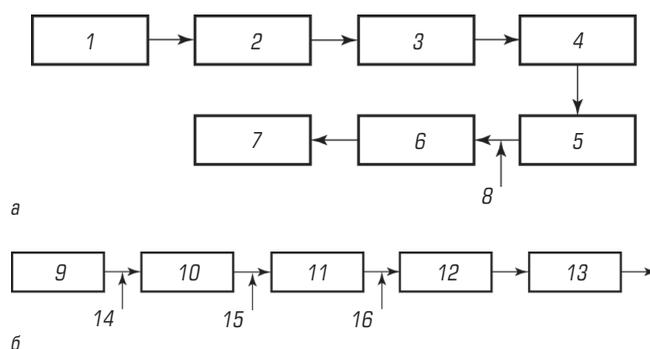
Значительный интерес представляет исследование технической (прежде всего спектральной) эффективности системы с комбинированной (двойной) модуляцией [5; 6], обеспечивающей максимум экономической эффективности благодаря использованию существующих мачт и аппаратуры РРЛ.

Что же касается повышения спектральной эффективности каналов связи, то с этой целью имеет смысл применить многопозиционную, например амплитудно-фазовую (QAM), модуляцию. Требуемый результат достигается за счет снижения символической скорости при равных битовых скоростях. Это позволяет на базе штатного оборудования РРС осуществить частотную модуляцию символов. Таким образом, по каналу передается ЧМ сигнал, который, используя ограничение уровня, подавляет паразитную амплитудную модуляцию, как это происходит и в случае обычной аналоговой РРЛ при передаче ЧМ сигнала.

Предлагаемое исследование имело целью дать оценку эффективности применения комбинированной (двойной) модуляции в условиях реального использования РРЛ.

Анализ проводился на основе специально разработанной алгоритмической модели (см. рисунок).

Была поставлена задача определения помехоустойчивости оцифрованного канала связи, реализованного на РРЛ с использованием существующего мачтового оборудования. При этом длина пролетов должна была быть не меньше длины пролетов в аналоговой РРЛ, организованной на базе станций типа



Алгоритмическая схема передающего (а) и приемного (б) трактов:

- 1 — источник информации (контента);
- 2 — аппаратура оцифровки контента и формирования потока SDI, а также аппаратура сжатия (мультиплексирование и формирование общего транспортного потока, например ASI);
- 3 — модулятор в стандарте DVB-C;
- 4 — преобразователь частоты сигнала; 5 — частотный модулятор;
- 6 — выходной линейный тракт; 7 — антенна;
- 8 — искажение сигнала при ЧМ (вертикальная стрелка указывает точку результирующего влияния искажения сигнала за счет характеристик передающего тракта ЧМ);
- 9 — антенна; 10 — приемный линейный тракт;
- 11 — демодулятор ЧМ; 12 — цифровой демодулятор;
- 13 — декодер; 14 — искажающие факторы на входе линейного тракта приемопередатчика;
- 15 — искажающие факторы на входе демодулятора ЧМ, определяющие отношение сигнал/шум (реальное в канале и необходимое для качественного приема)

«Курс». Требовалось также определить параметры формирователя цифрового потока, обеспечивающие приемлемое качество передачи и экономическую эффективность системы.

Анализ проводился по приведенной на рисунке алгоритмической модели в предположении, что формирователь потока (узлы 2 и 3 указанной модели) выполнен в соответствии со стандартом [7], причем искажения, вносимые формирователем, не превышают значений, регламентированных стандартом. Параметры узлов линейного тракта (узел 4) соответствуют искажениям, вносимым на нулевом уровне энергетических потерь [8]. Таким образом, в передающем тракте ожидаемыми источниками мешающих воздействий являются частотный модулятор и тракт 6, соответствующий требованиям, предъявляемым к передаче аналогового ЧМ сигнала.

На приемной стороне источником искажений также могут быть штатные узлы линейного тракта и демодулятор ЧМ (ЧМД).

Известно, что повышение индекса частотной модуляции приводит к расширению полосы частот, занимаемой ЧМ сигналом, и к снижению отношения сигнал/шум на выходе ЧМД.

Для приближенной оценки ширины полосы пропускания ВЧ тракта радиорелейной системы передачи (РРСП) используют формулу Карсона [9].

В нашем случае полоса пропускания $\Delta F_{\text{ЧМ}}$ тракта промежуточной частоты приближенно равна 27 МГц и определяется соотношением

$$\Delta F_{\text{ЧМ}} \approx 1,1(2\Delta f_D + 2F_{\text{max}}),$$

где Δf_D — предельно допустимая девиация промежуточной частоты; F_{max} — максимальное значение частоты группового сигнала ТВ ствола, $F_{\text{max}} \approx 8,5$ МГц.

Передающий и приемный тракты, указанные в алгоритмической модели, соединяются эфирным радиоканалом, при распространении по которому радиосигнал подвергается воздействию ряда негативных факторов, таких как тепловой шум различного происхождения, фиксированная сигналоподобная помеха и пр.

На входе цифрового демодулятора (см. рисунок, поз. 12) сигнал подвергается искажениям, вызванным всеми мешающими факторами, действующими в канале связи. Оценка искажения сигнала при различных видах цифровой модуляции по критерию энергетических потерь приведена в [8]. Следует, однако, учесть, что частотная модуляция цифрового сигнала, ослабляя влияние одних мешающих факторов, сама является источником других таких факторов.

На базе данной алгоритмической модели было получено выражение, позволяющее оценить отношение сигнал/помеха на выходе цифрового демодулятора по известному отношению сигнал/помеха на его входе при наличии в канале передачи гармонического сигнала и узкополосного гауссового шума, воздействующих на частотный детектор:

$$(C/P)_{\text{вых}} = 3(\omega_D/\Omega_{\text{max}})^2(C/P)_{\text{вх}},$$

где $\omega_D/\Omega_{\text{max}} = m$ — индекс угловой модуляции; $(C/P)_{\text{вх}}$, $(C/P)_{\text{вых}}$ — отношение сигнал/помеха соответственно на входе и выходе демодулятора.

Было установлено, что при индексе угловой модуляции, используемом в РРС, отношение сигнал/помеха на выходе демодулятора ЧМ будет почти на 5 дБ превышать отношение сигнал/помеха на его входе.

Вывод

Применение описанной алгоритмической модели показывает, что на базе имеющихся аналоговых линий связи и со-

ответствующей инфраструктуры можно с достаточно высоким уровнем качества обеспечить передачу цифровой информации, сэкономив при этом значительные материальные ресурсы.

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 // Радіоелектронні 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.

В. Я. Казимиренко

ЦИФРОВІЗАЦІЯ АНАЛОГОВИХ РАДІОРЕЛЕЙНИХ ЛІНІЙ: АЛГОРИТМІЧНА МОДЕЛЬ

Доведено, що при використанні для передавання цифрових потоків розгорнутих аналогових радіорелейних ліній досягається високий ефект — як технічний, так і економічний.

Ключові слова: аналогова радіорелейна лінія; алгоритмічна модель передавального і приймального трактів; частотна модуляція; демодулятор; відношення сигнал/завада.

V. Ya. Kazimirenko

ANALOG MICROWAVE LINES AS TRANSMITTERS OF DIGITAL FLOWS: ALGORITHM MODEL

It's shown that analog microwave lines using for digital flows transmitters has a lot of preferences concerning technical and economic effectiveness.

Keywords: analog microwave line; algorithm model of transmission and reception path; frequency modulation; demodulator; signal-to-interference ratio.