

ПЕРЕДАЮЩЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВЕЩАНИЯ



Участвуя в программе по созданию средств цифрового вещания, специалисты ОАО "МАРТ" провели большой объем научно-исследовательских и экспериментальных работ. При разработке радиопередатчика был заложен принцип максимальной унификации основных узлов: усилителей мощности, источников питания и систем управления. Теперь для перевода передатчика из режима аналогового вещания в режим цифрового вещания достаточно заменить возбудитель. Кроме того, были учтены все требования стандарта ETS300744, рекомендации различных международных организаций, мнения потенциальных заказчиков и результаты испытаний, проведенных в опытных зонах Санкт-Петербурга и Нижнего Новгорода.

В июле 2000 года в Нижнем Новгороде впервые в России была произведена экспериментальная передача телевизионного изображения в цифровом формате. В создании комплекса технических средств, способных обеспечить передачу и прием телевизионного изображения в цифровом формате, участвовали специалисты санкт-петербургских предприятий: АО "МАРТ", Государственного технического университета, НПК "Имос" и НИИ Телевидения. Испытания проводились на базе нижегородского предприятия ЗАО "Волга-Сотел".

Цифровой поток формировался с помощью мультиплексора (на его вход подавались две кодированные в стандарте MPEG2 ТВ-программы от видеокамеры Panasonic AF через кодек MPEG-2 "AT-43") и генератора испытательных сигналов Г-410, формирующего различные тестовые электронные таблицы. Далее в модуляторе фирмы TANDBERG Television формировался сигнал в соответствии со стандартом DVB-T. Сигнал с выхода модулятора с помощью возбудителя и усилите-

А.Артамонов, к.т.н.,

Л.Протопопов, д.т.н.

ля мощности радиопередатчика ПРД1 "Онега-0.5Ц" через фидерный тракт доставлялся на передающую антенну, расположенную на мачте на высоте 80 м. Мощность сигнала контролировалась в процессе работы на эквивалентной нагрузке. В номинальном режиме мощность передатчика составляла 0,5 кВт. Контроль сигнала до фидерного тракта производился на рабочем месте оператора передающего комплекса с помощью цифрового профессионального измерительного приемника фирмы TANDBERG Television, подключенного через направленный ответвитель к выходу передатчика. Сигнал цифрового ТВ из эфира принимался типовой логопериодической антенной с коэффициентом усиления около 4 дБ, приставкой для приема цифровых программ стандарта DVB-T фирмы Nokia и телевизором "Рубин".

Цель испытаний – определить как универсальные характеристики систем телевизионного наземного вещания, так и специфические требования к передающей аппаратуре, обусловленные особенностями сигнала стандарта DVB-T.

Было обнаружено появление искажения сигнала при усилении мощности. В результате в излучаемом колебании возникает шумовая составляющая (что говорит о снижении мощности) и увеличивается уровень внеполосных спектральных составляющих (УВСС). На этапе подготовки к экспериментальной передаче эти проблемы были решены путем создания определенного запаса линейности за счет уменьшения выходной мощности, тщательной настройки режимов работы отдельных транзисторов и применения сложного шестизвенного фильтра между выходом передатчика и антенной. Полученные в ходе испытаний результаты подтвердили правильность основных предположений, сделанных при проектировании передатчика.

Далее теоретически и экспериментально исследовались проблемы, связанные с влиянием различного рода искажений на качество выходного колебания [1–4]. Основные виды искажений в аппаратуре формирования, усилителях мощности и амплитудно-базовом усилителе (АФУ): нелинейные искажения амплитуды (характеристика АМ/АМ), влияние мгновенного значения амплитуды на фазу усиливаемого колебания (ха-



рактеристика АМ/ФМ), неравномерность группового времени запаздывания (ГВЗ), неравномерность амплитудно-частотной характеристики, нарушение соотношений между элементами сигнала и флуктуации фазы формируемого колебания.

На основании полученных результатов были сформулированы требования к передающему комплексу, созданы методики для измерения его характеристик, а также разработаны Временные нормы на параметры радиопередатчиков для телевизионного цифрового вещания (2002 год) и проекта Госстандарта.

На этапе испытаний труднее всего было решить проблемы связи между количественными оценками значений параметров, характеризующих различные виды искажений, и параметрами выходного сигнала. Не меньшие затруднения возникли при освоении системы предкоррекции, применяемой для уменьшения влияния нелинейных искажений в усилителях мощности.

Первая проблема была решена методом замещения последствий, которые вызваны искажениями, неким эквивалентным шумом [5–9]. Для обозначения этого шума используется понятие – эквивалентные шумовые потери (Equivalent noise degradation – END). Величина допустимого значения END определяется исходя из технологических особенностей и культуры производства, а также на основе анализа опыта применения этой методики при оценке товарной продукции. В предложенных нашими специалистами Временных нормах и проекте Госстандарта допустимое значение END равно 0,5 дБ. Предложения базировались на основе опыта ОАО "МАРТ" и некоторых зарубежных фирм (THOMCAST и ТЕКО-TELECOM).

Решение второй проблемы – уменьшения влияния нелинейных искажений в усилителях мощности при использовании системы предкоррекции – осложнялось значительным несоответствием теории и практики. Согласно теории, максимально достижимое уменьшение УВСС должно составлять 15–20 дБ, а на практике было получено 5–7 дБ. При анализе причин такого несоответствия удалось исключить из числа предполагаемых "виновников" такие факторы, как несовершенство интерактивного метода поиска оптимальной характеристики предкоррекции, разброс параметров параллельно включенных усилителей, неравномерность ГВЗ и амплитудно-частотной характеристики. В литературе, посвященной особенностям работы высокочастотных транзисторов [10–14], рассмотрен ряд эффектов, механизм влияния которых на качество усиливаемого колебания не соответствует гипотезе о квазистационарности нелинейных искажений. Это означает, что возможностей, предусмотренных в системах предкоррекции, недостаточно, чтобы исправить искажения вида АМ/АМ и АМ/ФМ и достичь нужных показателей.

Следующим важным этапом работы стало определение требований и условий для создания гибридных передатчи-

Основные параметры передатчиков ОАО "МАРТ"

Выходная мощность $P_{эфф}$, Вт	100, 200, 500, 1000, 2000
Частотный диапазон, МГц	48,5–66; 76–100; 174–230; 470–790
Ширина полосы частот, МГц	8
ТВ-стандарт	DVB-T ETS 300744
Модуляция	2K, 8K COFDM
Нагрузка	50/75 Ом, КБВ > 0,7
Уровень гармоник	< –60 дБ
Входной сигнал	Мультиплексированный транспортный поток MPEG-2 со скоростями 4,98–31,67 Мбит/с
Интерфейсы	DVB-SPI, DVB-ASI
Точность установки частоты, Гц	+100
Стабильность частоты	$1 \cdot 10^{-7}$
Эквивалентные энергетические потери, дБ	< 0,5 в режиме 64QAM, R = 7/8
Относительный уровень внеполосных составляющих спектра, дБ	< –35 (определяется условиями эксплуатации; необходимая величина дополнительного подавления этих составляющих обеспечивается с помощью фильтра, характеристики которого согласуются с заказчиком)

ков, которые при сравнительно простой перестройке могли бы обеспечивать вещание как в аналоговом, так и в цифровом режимах. В ОАО "МАРТ" изготовлен и испытан ряд передатчиков, соответствующих требованиям стандарта к системе DVB-T (см. таблицу).

Условия эксплуатации модуляторов: температура от 5 до 45°C, влажность не более 80% при температуре 20°C, высота над уровнем моря не более 2500 м.

На ряд передатчиков для цифрового ТВ-вещания получен сертификат качества. Один из изготовленных образцов ("Онега-1Ц") задействован в коммерческом вещании и с 2002 года работает круглосуточно. "Онега-1Ц" готов к серийному производству.

Опыт, полученный в ходе работ по сертификации выпускаемого оборудования, приемо-сдаточных испытаний и установки передающего комплекса на объектах заказчика, позволил оценить степень соответствия предложенных норм реальным условиям эксплуатации оборудования и внести необходимые уточнения в методики измерений.

Совершенствование новой техники для цифрового ТВ-вещания связано с повышением энергетической эффективности (ЭЭ) и эффективности систем коррекции искажений.

Первый способ повышения ЭЭ предполагает оптимизацию зависимости этого показателя от величины пикфактора при сохранении требований к качеству усиливаемого колебания. Теоретические положения изложены в работах [15, 16]. На рис.1. представлены зависимости суммарных потерь, обусловленных искажениями вида "насыщение", от соотношения между средней мощностью и уровнем "насыщения". Нижняя линия соответствует потерям, вызванным уменьшением рабочего значения средней мощности по сравнению с максимально возможным. Средняя кривая отображает зависи-

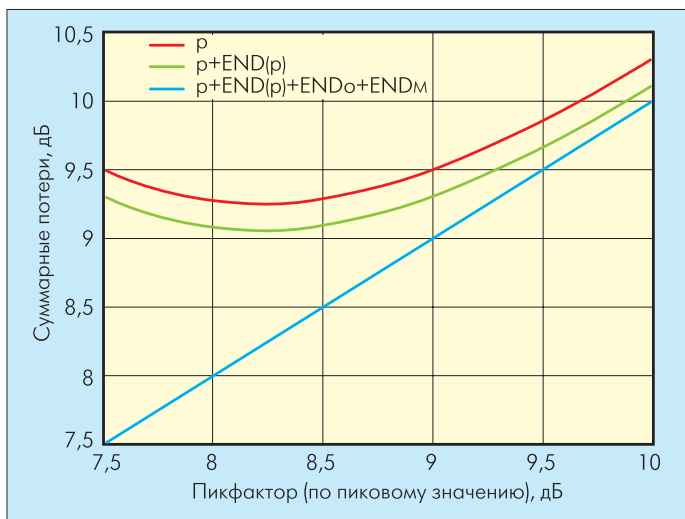


Рис. 1. Зависимость суммарных потерь от величины пикфактора

мость суммы потерь за счет вышеупомянутого фактора и потерь от искажения сигнала OFDM при ограничении. Верхняя кривая учитывает постоянную добавку из-за влияния других видов искажений, имеющих место в передатчике и модуляторе. Характер зависимостей указывает на наличие определенного значения пикфактора, при котором величина потерь минимальна, т.е. в этой точке достигается максимальная ЭЭ. Примером реализации этого режима является схема, содержащая ограничитель и полосовой фильтр, включенная между выходом модулятора и входом возбуждителя. В ходе настройки уровень ограничения должен быть установлен в точке, соответствующей минимуму потерь, и максимальная величина мгновенного значения усиливаемого колебания должна соответствовать максимально допустимому уровню усилителя мощности.

Второй способ повышения ЭЭ предполагает использование режима раздельного усиления огибающей и фазы. В работе [17] показано, что при усилении сигнала OFDM с по-

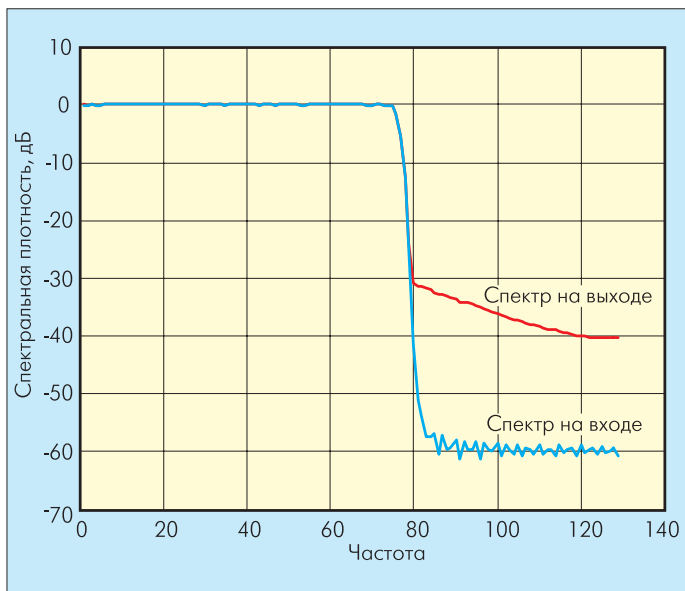


Рис. 2. Спектры входных и выходных сигналов OFDM при прохождении через усилитель с искажениями

мощью линейного передатчика электронный КПД выходного каскада не может быть больше 36%, а для схемы с раздельным усилением верхняя граница равна 80%.

Как уже упоминалось, опыт применения систем коррекции искажений показал, что возможности применяемых средств не позволяют обеспечить ожидаемую эффективность. Из анализа литературы, посвященной описанию свойств усилителей мощности на высокочастотных транзисторах, следует, что причинами расхождения между теоретическими предположениями и результатами эксперимента могут быть влияние тепловой инерционности транзисторов и неидеальность свойств схем развязки и фильтрации. Математическая модель, описывающая влияние этих факторов, имеет вид:

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} \{1 + F[h(a, \tau)]\},$$

где $U_{\text{вх}} = a(t) \cos[\omega t + \varphi(t)]$, h – функция, отражающая влияние инерционности, F – функция, отражающая влияние нелинейности, $a(t)$ и $\varphi(t)$ – огибающая и фаза OFDM-сигнала, соответственно.

Результаты математического моделирования усилителя при наличии рассмотренных искажений приведены на рис.2. Характер наблюдаемых искажений спектра выходного колебания не противоречит предположению о причинах несоответствия. К сожалению, в известной литературе отсутствует описание методики, с помощью которой можно идентифицировать структуру и параметры подобных схем: неизвестны также способы построения систем коррекции. Поэтому этот вопрос должен быть детально исследован – необходимо разработать методы, с помощью которых можно строить системы компенсации подобного рода искажений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артамонов А.А., Копьев К.Н., Погорельцев Ю.Н., Протопопов Л.Н. Влияние нелинейных искажений твердотельных усилителей мощности ДЦВ-диапазона на качество сигнала цифрового эфирного телевизионного вещания. – 3-я международная научно-техническая конференция "Перспективы развития телерадиовещания и телекоммуникационных услуг", Москва, 14-16 февраля, 2001.
2. Артамонов А.А., Копьев К.Н., Погорельцев Ю.Н., Протопопов Л.Н. Адаптивная предкоррекция усилителей мощности цифровых телевизионных передатчиков. – IEEE/ICC2001/St. Petersburg International Conference on Communications, С.-Петербург, 11-15 июня 2001.
3. Артамонов А.А., Копьев К.Н., Погорельцев Ю.Н. Исследование влияния флуктуаций фазы на качество приема сигналов в стандарте DVB-T. – IEEE/ICC2001/St. Petersburg International Conference on Communications, С.-Петербург, 11-15 июня 2001.
4. Артамонов А.А., Копьев К.Н., Погорельцев Ю.Н., Протопопов Л.Н. Вопросы нормирования параметров



передатчиков для цифрового ТВ-вещания. Научно-техническая конференция "Современные телевизионные технологии, состояние и развитие". – МНТИ, 9–10 октября, 2002 г.

5. Transmitter measurements in a DVB-T system. John Salfer & Ranulph Poole. – BBC Research & Development.

6. Digital TV Group, 29 May, 1998. – Digital TV Terrestrial Television. Requirement for Interoperability.

7. DTG Seminar on DVB-T measurements, Document 105, 11/16/2001. Digital Television Services: Loss of Noise Margin within the COFDM Transmission Chain. Ranulph Poole.

8. DTG Seminar on DVB-T measurements, Document 105, 11/16/2001. Noise in a DVB-T System. John Salter.

9. ETR 290. Digital Video Broadcasting (DVB); Measurement guidelines for DVB systems.

10. **Vuolevi J., Rahkonen T.** Distortion in RF Power Amplifiers. – Artech House Boston – London.

11. **Stephen A. Maas.** Nonlinear Microwave and RF Circuits. Second Edition. – Artech House Boston – London.

12. **Steve C. Cripps.** Advanced Techniques in RF Power Amplifier Design. – Artech House Boston – London.

13. Digital Predistortion of Power Amplifiers for Wireless Applications. A Thesis Presented to The Academic Faculty by Lei Ding In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Doctor of Philosophy. – School of

Electrical and Computer Engineering Georgia Institute of Technology, March 2004.

14. Nonlinear System Identification and Analysis with Applications to Power Amplifier Modeling and Power Amplifier Predistortion.

A Thesis Presented to The Academic Faculty by Raviv Raich In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Doctor of Philosophy. – School of Electrical and Computer Engineering Georgia Institute of Technology, March 2004.

15. **Andrea Conti, Davide Dardari and Velio Tralli.**

An Analytical Framework for CDMA Systems With a Nonlinear Amplifier and AWGN. –

IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, VOL. 50, №. 7, July 2002.

16. **Je-hong Jong, Kyoungsoon Yang, Wayne E. Stark and George I. Haddad.** Performance of OFDM Systems with Adaptive Nonlinear Amplifiers. – Department of Electrical Engineering and Computer Science The University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, U.S.A.

17. **Артамонов А.А., Копьев К.Н., Протопопов Л.Н.**

Сравнительная оценка энергетической эффективности двух способов построения усилителей мощности для передатчиков цифрового радиовещания.

5-я Международная конференция "Цифровые технологии в телевизионном и звуковом вещании". – Валдай, 19–23 апреля 2005.