

УДК 621.391:621.35.026

## ОПТИМИЗАЦИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ

ГАРЕЛИК Д. Г.

ОАО «БЕЛЛИС»  
(г. Минск, Республика Беларусь)

E-mail: gorelik\_d@bellis.by

**Аннотация.** Варианты использования адаптивных алгоритмов внесения предискажения входного сигнала для усилителей мощности базовой станции для линеаризации работы их работы.

**Abstract.** Options for using adaptive algorithms for the contribution of signal pre-distortion for input signals of power amplifiers to linearize their operation.

### Введение

Повышение требований стандартов беспроводной связи к энергоэффективности и качеству сигнала заставляет провайдеров услуг связи искать пути оптимизации стоимости развертывания и эксплуатации систем связи. Описываемое решение позволяет существенно повысить качество выходного сигнала усилителя мощности базовой станции и увеличить зону покрытия при одновременном снижении стоимости эксплуатации системы. Быстрый рост нагрузки на беспроводную инфраструктуру вызывает рост энергопотребления базовых станций. Усилители мощности (УМ) обеспечивают передачу радиосигнала базовой станции и их часть в стоимости базовой станции может составлять до трети от общего значения. Реализация методов ограничения коэффициента амплитуды (CFR) и цифрового предискажения (DPD) перед подачей сигналов на вход УМ базовой станции способствует повышению качества сигнала и зоны покрытия.

### Улучшение качества сигнала

Новый стандарт беспроводной связи 5G NR позволяет передавать большое количество данных в фиксированном диапазоне частот, но имеет недостаток в виде высокой чувствительности к искажениям УМ базовой станции. Переход к спектрально эффективному стандарту существенно повысил стоимость развертывания сети.

Технология DPD и CFR представляют собой методы обработки сигнала, предусматривающие изменение характеристик входного и выходного сигнала, препятствующие возникновению искажений в выходном радиосигнале УМ, что позволяет получить практически линейную выходную характеристику в расширенном диапазоне работы УМ базовой станции. Для защиты от искажений у верхней границы рабочего диапазона УМ не требуется ограничивать выходную мощность, что в свою очередь обеспечивает снижение требований к системе охлаждения базовой станции, что позволяет реализовать ее с меньшими затратами.

Для визуализации режимов работы УМ рассмотрим рисунок 1. Идеальный УМ имеет линейную характеристику, показанную голубой линией. В данном случае увеличение входного сигнала на 10% вызывает увеличение выходной мощности на те же 10%. Характеристика реального УМ показана кривой красного цвета. Она совпадает с хар-кой только при низком уровне выходной мощности, но имеет отклонение от идеальной хар-ки при высоких уровнях мощности. Увеличение входного уровня на 10% в граничной области вызывает только изменение выходной мощности на 9%. В итоге наступает такой момент, когда выходная мощность УМ не растёт.

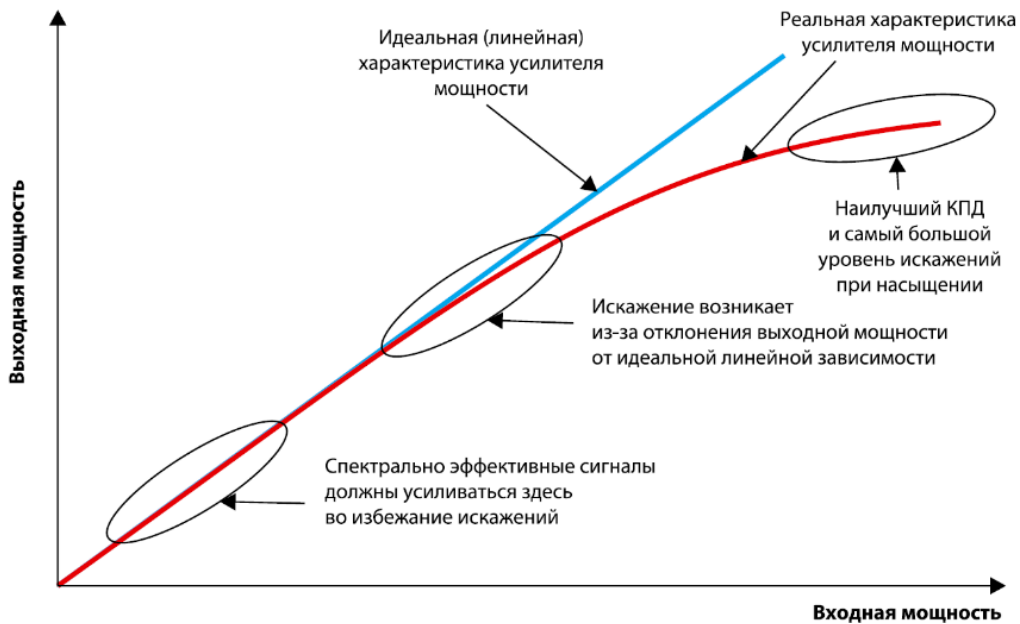


Рис. 1. Режимы работы идеального УМ.

### Линеаризация характеристик УМ

С помощью алгоритма DPD можно расширить область линейности характеристики УМ. При приближении уровня мощности к порогу отклонения от идеальной характеристики появляются искажения в выходном сигнале УМ. Алгоритм DPD подразумевает сравнение искаженного выходного сигнала УМ с неискаженным сигналом на входе УМ. В дальнейшем к входному сигналу добавляется сигнал, в точности противоположный искажению выходного сигнала, обеспечивая эффективную компенсацию помех. Поскольку алгоритм DPD расширяет линейную область характеристики УМ, он является одним из базовых методов линеаризации.

Сравнение выходного и входного сигнала является обратной связью и наиболее эффективно реализуется цифровым способом. Из-за совокупности факторов окружающей среды и не идеальности реализации компонентов входящих в состав всех трактов передачи сигнала цифровая реализация алгоритма DPD наиболее эффективна. Алгоритм DPD может расширить линейную характеристику УМ на 2-3 дБ, что является существенным приростом, учитывая рабочий диапазон УМ.

Алгоритм CFR является еще одним методом внесения цифрового предискажения сигнала, что повышает входной диапазон УМ, ограничивая отношение пикового к среднему уровня сигнала (PAR). Для понимания работы алгоритма CFR следует обратить внимание на рисунок 2. Из рисунка следует, что при увеличении входного уровня до определенного предела происходит насыщение выходной мощности и УМ больше не обеспечивает роста выходной мощности.

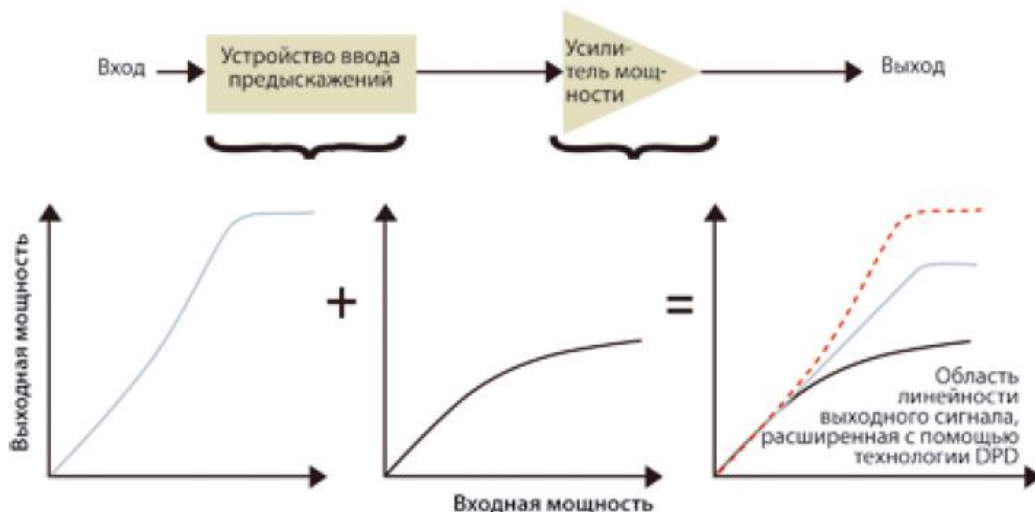


Рис. 2. Работа алгоритма CFR.

Алгоритм CFR автоматически ограничивает пиковые значения сигналов на входе и позволяет им усиливаться без искажений и ограничений. Ограничение входного сигнала применимо в очень ограниченных пределах, так как фактически вносит дополнительные искажения во входной сигнал, вместо их устранения. Ограничивая PAR входного сигнала, можно линейно увеличивать выходную мощность УМ. Снижение PAR на 3 дБ позволяет повысить рабочую точку УМ на 3 дБ, тем самым улучшая КПД УМ. Повышение рабочей точки на 3 дБ фактически реализует удвоение выходной мощности УМ, без увеличения потребления энергии.

### **Заключение**

Адаптивные алгоритмы DPD и CFR позволяют драматично улучшить линейность УМ базовой станции, улучшив ее энергоэффективность и снизить стоимость за счет пониженного требования к системе охлаждения. Возможность реализации адаптивных алгоритмов в виде отдельного устройства и использования данной системы на эксплуатируемых базовых станциях позволят снизить затраты на поддержание функционирования сети.

### **Список использованных источников**

1. Bassam, S. Crossover Digital Predistorter for the Compensation of Crosstalk and Nonlinearity in MIMO Transmitters / S. A. Bassam, M. Helaoui, F. M. Ghannouchi // IEEE Trans. Microw. Theory Tech. 2009. V. 57, № 5. P. 1119–1128.
2. Averina, L. I. Adaptive Digital Corrector for Dual-Band Data Transmission System under Quadrature Distortions / L. I. Averina, O. V. Bugrov // Radioelectronics and Communications Systems. 2020. № 63. P. 126–135.
3. Power Amplifier Characterization Using a Two-Tone Measurement Technique / C. Clark, C. Silva, A. Moulthrop, M. Muha // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2002. V. 50, № 6. P. 328–333.