

## ИСКАЖЕНИЯ СИГНАЛОВ В МОЩНОМ СВЧ-УСИЛИТЕЛЕ

Чешев А.М., Барский Д.Р., Гуров П.А., Нефедов В.И., Самохина Е.В.

Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики  
(технический университет)  
119454, Москва, проспект Вернадского 78, тел. 434-91-56

В современных системах подвижной связи с многостанционным доступом с частотным (FDMA) и кодовым разделением (CDMA) каналов в качестве СВЧ-усилителей мощности, работающих в много-сигнальном режиме, используются транзисторные широкополосные каскады и схемы со сложением мощностей. К СВЧ-усилителям, в которых реализованы сложные алгоритмы обработки сигналов, всегда предъявляется ряд технических требований по надежности, уровню и контролю выходной мощности, а главное – по минимизации нелинейных искажений в широкой полосе частот.

При работе мощных усилительных СВЧ-модулей с КПД более 40 % трудно обеспечить высокую линейность амплитудной (АХ) и фазоамплитудной (ФАХ) характеристик. Одним из вариантов решения этой проблемы является применение широкополосных сумматоров мощности с малыми потерями. При этом каким бы мощным ни был выходной усилитель, существует оборудование, которое практически невозможно построить без использования схем суммирования и деления мощностей (передатчики базовых станций сотовой связи и служб персональной связи, спутниковые ретрансляторы). Однако имеется ряд проблем, которые возникают при конструировании и эксплуатации выходных транзисторных усилительных модулей, включающих схемы сложения (деления) мощностей и работающих со сложным многочастотным сигналом.

1. В спектре выходных сигналов многочастотного СВЧ-усилителя всегда появляются интермодуляционные искажения (ИМИ), которые практически не фильтруются и значительно ухудшают параметры системы связи. Высокая линейность характеристик может быть достигнута путем снижения КПД до 10...20 %, что непреемлемо для дорогих мощных усилителей, работающих на участке АХ, близкой к мощности насыщения. При расширении полосы пропускания канала связи более 1 МГц довольно часто нельзя ограничиться учетом ИМИ только 3-го порядка. На отдельных участках полосы пропускания ИМИ 5-го порядка в таких системах могут достигать уровней – (30–35) дБ, что ухудшает линейность характеристик СВЧ-усилителя.

2. Для снятия характеристик усилительных СВЧ-модулей необходимы определенные условия. При этом степень подавления ИМИ сильно зависит от амплитудных и фазовых ошибок, то есть, значительно ухудшается при росте нестабильности АХ и, особенно, ФЧХ. Подобные нестабильности не только ухудшают показатели системы и сужают полосу частот, в которой возможна минимизация ИМИ, но и снижают надежность многомодульного усилителя.

3. Чтобы подавить ИМИ в выходном спектре сигналов СВЧ-усилителей надо включать в передатчик схему коррекции характеристик усилителя. Однако степень подавления ИМИ в имеющихся корректорах зависит от амплитудных и фазовых ошибок, возникающих в самих схемах коррекции.

Фазовые ошибки, в результате которых ухудшаются качественные показатели системы связи, возникают из-за переменной амплитуды усиливаемого сигнала. Работа усилителя в таком режиме, когда амплитуда сигнала непостоянна, приводит к интермодуляционным искажениям, которые также ухудшают качественные показатели системы.

Для подавления ИМИ применяют системы коррекции характеристик выходных усилителей. К ним относятся:

- синфазно-квадратурная и полярные петли обратной связи;
- система адаптивного широкополосного предискажения;
- система с подавлением и восстановлением несущей;
- система линейного усиления с использованием нелинейных компонентов.

Синфазно-квадратурная петля связи позволяет линеаризовать передатчик, в котором осуществляется цифровая модуляция. К недостаткам подобной системы стоит отметить достаточно большую задержку при прохождении сигналом петли обратной связи.

Основное отличие корректора с полярной петлей обратной связи от синфазно-квадратурной системы заключается в том, что схема воздействует не на синфазную (I) и квадратурную (Q) составляющие, а на амплитудную и фазовую. Степень коррекции нелинейных искажений происходит менее интенсивно, ограничивая, тем самым, производительность всей системы по минимизации ИМИ в выходном спектре.

В схеме корректора с адаптивным широкополосным предискажением применяется дорогой и сложный цифровой сигнальный процессор посредством которого осуществляется цифровая модуляция. В результате, из-за необходимости установки ОЗУ в передатчике и АЦП в петле обратной связи, может возрасти энергопотребление, сложность аппаратуры и увеличится стоимость корректора.

Система линейного усиления с использованием нелинейных компонентов представляет собой схему, построенную с применением методов линейного усиления, включающую синтезаторы радиочастоты. Под этим подразумевается, что «линейный» спектр (спектр на выходе линейного усилителя) возникает только на выходе передатчика. При этом все нелинейные процессы внутри самого усилителя остаются неизменными.

Авторами была разработана система корректора ошибок с прямой связью (feedforward) Основной задачей при разработке корректора является линейаризация АХ и ФАХ СВЧ-усилителя и сведение к минимуму интермодуляционных искажений (ИМИ) при прохождении многочастотного сигнала через усилитель. Данная система включает в себя две петли прямой связи. В первой петле происходит подавление несущей, выделение ИМИ, и инвертирование их по фазе. Во второй петле происходит инвертирование ИМИ по фазе, их усиление линейным усилителем до уровня ИМИ на выходе основного усилителя, и подавление ИМИ в выходном спектре. По сравнению с рассмотренными выше схемами, система с прямой связью обладает рядом преимуществ:

- широкополосность системы; возможная рабочая полоса частот – до 25 МГц;
- динамическая корректировка ИМИ путем выделения амплитудных и фазовых ошибок (неравномерность ФАХ  $2^\circ$  или неравномерность АХ 0,25 дБ повлечет за собой коррекцию на 30 дБ при линейных АЧХ и ФЧХ и отсутствии рассогласования в сумматорах/делителях мощности).

Предложенная система способна обеспечить подавление ИМИ на выходе современных СВЧ-усилительных модулей в диапазоне 15 МГц. Расширение полосы возможно при условии соблюдения высокой линейности ФЧХ и минимизации фазовых ошибок в заданной полосе частот.

1. M. Golio, Low Voltage Electronics for Portable Wireless Applications: An Industrial Perspective, 1998 IEEE MTT-S Digest, p. 319.

2. Nefedov V., Kozlov E. Consideration of amplitude and phase errors in the power amplifier linearization circuits. DSPA'2002, 4-th International Conference: Digital Signal Processing And Its Applications. Moscow, Russia. 2002. Proceedings – 2, p. 349.

