ОСЛАБЛЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ В УСИЛИТЕЛЯХ МОЩНОСТИ

© 2010 г. В.Н. МЕЛЬЧАКОВ, П.В. ТОЛУШЕВ, В.С. ЗЕНЦОВ, Д.А. СИМОНОВ, И.С. КИРЮХИН

Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики
(технический университет)

При проектировании новых систем подвижной связи разработчики столкнулись с рядом технических противоречий. С одной стороны, для качественной передачи информации необходимо применять сложные виды сигналов, поддерживающих высокоскоростные потоки данных, а с другой – для увеличения времени действия питающих батарей необходимо снижать уровни излучаемых сигналов. Значительно сгладить эти противоречия и найти компромиссное решение позволят СВЧ-усилители с малыми уровнями шумов и высоким КПД.

При работе мощных усилительных СВЧ-модулей с КПД более 30% трудно обеспечить высокую линейность амплитудной характеристики (АХ) и фазоамплитудной характеристики (ФАХ). Одним из вариантов решения этой проблемы является применение широкополосных сумматоров мощности с малыми потерями. Очевидно, что каким бы мощным ни был выходной усилитель, существует оборудование, которое практически невозможно построить без использования схем суммирования и деления мощностей. Однако существует ряд проблем, которые возникают при конструировании и эксплуатации выходных транзисторных усилительных модулей, включающих схемы сложения мощностей и работающих со сложным многочастотным сигналом.

1. К мощным усилительным модулям предъявляются жесткие требования по линейности их характеристик. В результате на выходе многочастотного СВЧ-усилилеля появляются нелинейные интермодуляционные искажения (ИМИ), которые не поддаются никакой фильтрации и значительно ухудшают параметры системы связи. Высокая линейность характеристик может быть достигнута путем снижения КПД до 10-20%, однако это непреемлемо для дорогих мощных усилителей, которые работают на участке АХ, близкой к мощности насыщения.

2. При расширении полосы пропускания более 1 МГц часто нельзя ограничится учетом ИМИ только третьего порядка. На отдельных участках полосы пропускания, ИМИ 5-го порядка в подобных системах могут достигать уровней –35 дБс, что может ухудшить линейность характеристик усилителя. Для подавления ИМИ в выходном спектре, требуется ввести в передатчик схему коррекции характеристик усилителя. Однако степень подавления ИМИ в имеющихся корректорах зависит от амплитудных и фазовых ошибок, которые возникают в самих схемах коррекции.

3. Характеристики усилительных модулей, приводимые в технических условиях, снимаются при определенных условиях (температуре, напряжениях питания, смещения). В свою очередь, степень подавления ИМИ сильно зависит от амплитудных и фазовых ошибок, то есть, значительно ухудшается при росте нестабильности АЧХ и, особенно, ФЧХ. Подобные нестабильности не только ухудшают показатели системы и сужают полосу частот, в которой возможна минимизация ИМИ, но и снижают показатели надежности многомодульного усилителя.

Основным источником фазовых ошибок является переменная амплитуда, подаваемая на вход усилителя. Она приводит к несоответствию коэффициента усиления ожидаемому, (если бы амплитуда была постоянной). Работа усилителя в таком режиме, когда амплитуда сигнала непостоянна, приводит к интермодуляционным искажениям, которые также ухудшают качественные показатели системы.

В качестве систем коррекции характеристик усилителей систем связи можно отметить следующие схемы: синфазно-квадратурная петля обратной связи; полярная петля обратной связи; система адаптивного широкополосного предыскажения; система с подавлением и восстановлением несущей; система линейного усиления с использованием нелинейных компонентов.

Синфазно-квадратурная петля связи позволяет линеаризовать передатчик с цифровой модуляцией. К недостаткам системы стоит отметить достаточно большую задержку при прохождении сигналом петли обратной связи. Практические схемы с применением синфазно-квадратурных петель обратной связи были построены для частот от 150 МГц до 1,8 ГГц и применялись, главным образом, в системах TETRA, GEONET. Основное отличие корректора с полярной петлей обратной связи от предыдущей схемы 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.

Во многом, схема корректора с адаптивным широкополосным предыскажением похожа на схему синфазно-квадратурной петлей обратной связи. Однако в данной схеме применяется дорогой и сложный цифровой сигнальный процессор, посредством которого осуществляется цифровая модуляция. В результате, из-за необходимости установки ОЗУ в передатчике, а также АЦП в петле обратной связи, может сильно возрасти энергопотребление, сложность аппаратуры и увеличится стоимость.

Особый интерес представляют системы с подавлением и восстановлением несущих, которые, теоретически, могут иметь КПД в 100 % по преобразованию постоянного тока в СВЧ-сигнал. Это объясняется тем, что в данной схеме используется модуляция источника питания, а на вход СВЧ-усилителя подается сигнал с постоянной амплитудой. Тем самым, усилитель перестает обрабатывать входные сигналы с различной амплитудой. Однако применение модуляции мощного источника питания нельзя отнести к совершенному методу линеаризации, поскольку при малых амплитудах огибающей транзистор может не включаться, внося, таким образом, искажения. 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.

При разработке корректора основной задачей является линеаризация АХ и ФАХ СВЧ-усилителя и сведение к минимуму интермодуляционных искажений при прохождении многочастотного сигнала через усилитель. По сравнению с рассмотренными выше схемами, система с прямой связью (feedforward) обладает рядом преимуществ:

– широкополосность системы; возможная рабочая полоса частот – до 25 МГц;

– динамическая корректировка ИМИ, путем выделения амплитудных и фазовых ошибок (неравномерность ФАХ 2º 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).

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. 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Maas S.A.* How to Model Intermodulation Distortion. Invited Paper, IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, 1991, p. 149 - 151.