

Одной из основных проблем, стоящих перед разработчиками мощных широкополосных СВЧ-усилителей для систем связи, является уменьшение уровней интермодуляционных искажений (ИМИ), а также эффектов, называемых амплитудно-фазовой конверсией (АФК). Чтобы повысить эффективность подобных схем, необходимо: минимизировать нелинейные искажения, полученные при преобразовании частоты, а также уменьшить искажения, возникающие в самом каскаде при работе с многочастотным сигналом. Для этого применяют корректоры линейности характеристик. На практике сложно выбрать схему корректора характеристик, потому известна оптимизация по различным показателям: полосе пропускания канала, требуемой эффективности подавления ИМИ и т.п. В настоящее время известны такие системы коррекции характеристик:

- системы линейного усиления с использованием нелинейных компонентов;
- системы с прямой связью;
- системы адаптивного широкополосного предискажения;
- системы с подавлением и восстановлением несущей.

В системах адаптивного широкополосного предискажения перед усилителем вводится корректор, включающий в себя электронно-управляемые аттенюатор и фазовращатель, который вносит предискажение, чтобы линеаризовать АХ и ФАХ системы «корректор — нелинейный усилитель».

В системах с цифровой модуляцией находят применение схемы, отслеживающие изменения синфазной и квадратурной составляющих. К преимуществам подобных схем можно отнести то, что в процесс линеаризации оказывается включенным не только выходной усилитель, но и предварительный усилитель и преобразователь частоты. Обычно, применяя на практике подобную схему, высокую степень подавления ИМИ в выходном спектре можно обеспечить для одной несущей частоты или для нескольких рядом стоящих частотно-разделенных каналов связи. Практические схемы СВЧ-усилителей были разработаны для частот от 200 МГц до 2 ГГц. Уровни подавления ИМИ 3-го порядка при этом составляли от 25 дБ до 40 дБ.

В системах линейного усиления с использованием нелинейных компонентов, построенных с применением методов линейного усиления, применяют синтезаторы радиочастоты. Под этим считается, что «линейный» спектр возникает только на выходе передатчика. При этом все нелинейные процессы внутри самого усилителя остаются неизменными.

Для линеаризации современных мощных СВЧ-усилителей базовых станций сотовой связи, в настоящее время разрабатываются двухпетлевые схемы корректоров с прямой связью. В первой петле происходит подавление несущей, выделение ИМИ и инвертирование их по фазе, а во второй петле – линейное усиление ИМИ, после чего происходит подавление ИМИ в выходном спектре.

Главной проблемой корректоров с прямой связью является снижение КПД за счет суммирования сигналов на выходе усилителя. Повысить КПД подобных систем возможно, применив несимметричные сумматоры на связанных линиях. При этом в балластной нагрузке рассеивается не половина мощности несущих (как в 3 дБ направленном ответвителе), а около 10 %. Кроме того данное конструкторское решение позволяет применить балластные сопротивления, рассчитанные на меньшую мощность. Однако помимо этого необходимо учитывать амплитудные и фазовые ошибки, возникающие при сложении сигналов на выходе усилителя.

Для подавления несущих на выходе сумматора, на один вход которого подается неискаженный входной сигнал, а на второй вход – выходной усиленный сигнал с ИМИ, необходимо, чтобы их амплитуды были бы одинаковы, а сдвиг фаз был бы 180° . На практике существует определенный порог ограничения несущих. Зная пороги ограничения несущих, можно определить степень их подавления при входной мощности – P_1 и выходной мощности в сумматоре – $P_{\text{вых}}$.

Возможны два варианта минимизации фазовых ошибок. Первый вариант заключается в работе с постоянными уровнями входных сигналов. Второй вариант подразумевает введение дополнительных автоматических схем управления, которые построены по принципу корректоров с предискажением и сводят к минимуму амплитудные и фазовые ошибки в цепи подавления несущих.

Значительно повысить КПД корректоров и уменьшить фазовые ошибки можно, применив амплитудные детекторы в цепях коррекции фазы схемы управления. В цепь необходимо ввести сумматоры, на которые подаются искаженный и неискаженный сигналы. Электрическая длина каждого из двух участков пути до сумматора должна быть различной (например, 175° и 185°). Таким образом устанавливается связь между уровнем мощности и фазовым набегом. Далее, в случае равенства амплитуд P_a и P_b , на входе цепи коррекции фазы будет нулевое напряжение.

Использование амплитудных детекторов в цепях коррекции фазы выгодно отличает предложенный корректор от остальных, так как в этом случае практически отпадает проблема дополнительной подстройки фаз в двух каналах в цепи подавления несущих.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kenington P.B., Methods Linearize RF Transmitters And Power Amps. Microwaves & RF, December 1998.



THE INCREASE OF THE EFFICIENCY OF COMMUNICATION SYSTEM RF-AMPLIFIERS

Samokhina E., Nefedov V.

For the present a great deal of RF-amplifier linearization circuits are known. The choice of the eligible circuit is influenced by the requirements to the intermodulation distortion (IMD) level in the output spectrum. The fundamental tasks of these circuits are: minimization of the generated nonlinear distortion at the frequency conversion stage and minimization of the distortion originating in the amplifier while working with a multicarrier signal. In practice it is rather difficult to choose any particular correction circuit because the various circuits offer optimization on various parameters such as: the passband of the channel, required efficiency IMD limitation etc. As an example of the modern power amplifier linearization circuits for communication systems it is worth mentioning these:

- Broadband adaptive predistortion systems;
- Systems with carrier suppression and restoration;
- Linear amplification systems with nonlinear components;
- Feedforward systems.

In systems where digital modulation is applied the circuits trace not amplitude and phase variations but inphase and quadrature components. The advantage of these circuits is that not only power amplifier but also preamplifier and frequency converter are involved in linearization process. The practical I/Q feedback circuits were designed for the frequencies from 200 MHz up to 2 GHz. Thus the third-order IMD limitation levels from 25 dB up to 40 dB were achieved.

At the present time feedforward circuits are being developed for the linearization of modern power base station amplifiers. The fundamental problem of feedforward correctors is the reduction of the power-added efficiency (PAE) as a result of signal summation at the amplifier's output. It is possible to improve the PAE of such systems having applied combiners on non-regular coupled lines. Thus not half of the carrier power (as in 3-dB directional coupler) but about 10 %. Besides the given design decision allows to apply ballast load designed for a smaller power. However it is necessary to take into account amplitude and phase errors originating in the output power combiner.

For the carrier limitation in the combiner where the first input signal is undistorted and the second – the output amplified signal with IMD it is necessary that their amplitudes would be identical and the phase shift would be 180° . If the amplitude and phase thresholds are known it is possible to define a level of carrier limitation. The simulation shows a greater dependence of the carrier limitation level upon phase errors rather than upon amplitude errors.

Phase errors minimization is possible due to introduction of additional automatic control circuits based on a predistortion principle. These control circuits can reduce amplitude and phase errors in the carrier limitation loop to a minimum.

REFERENCES

1. Kenington P.B., Methods Linearize RF Transmitters And Power Amps. Microwave & RF. December 1998.