

СЛОЖЕНИЕ МОЩНОСТЕЙ В УСИЛИТЕЛЬНЫХ СВЧ-МОДУЛЯХ

Барский Д.Р., Белявский Д.С., Бузылёв Ф.Н., Нефедов В.И.

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

В передатчиках систем связи наибольшее распространение получили усилительные СВЧ-модули со сложением мощностей. В частности, это необходимо для работы в широком диапазоне частот и размещения большего числа каналов связи. В диапазоне дециметровых волн требуется быстрая перестройка частоты и обеспечение широкой полосы пропускания мощных СВЧ-усилителей. Применение на этих частотах усилителей с перестраиваемыми резонансными контурами затруднено, поскольку из-за введения устройств автоматической перестройки усложняется конструкция всего усилителя. Следовательно, переход к широкодиапазонным двухтактным усилителям оправдан и позволяет обойтись без подстроечных элементов, что, безусловно, повышает надежность передатчиков систем связи.

Обычно считают, что из-за удвоенного количества активных элементов в двухтактных усилителях размеры аппаратуры тоже значительно возрастают. Однако переход к широкополосным схемам позволяет снизить токи и напряжения на реактивных элементах их колебательных систем, поэтому уменьшается и их масса и габариты. С другой стороны, необходимость выравнивания в каждом каскаде коэффициента усиления по мощности на всей полосе пропускания усилителя может вести к уменьшению его абсолютного значения, а значит и к увеличению общего числа усилительных каскадов.

Двухтактные балансные усилители применяются главным образом в оконечных каскадах мощных усилительных модулей, в которых транзисторы работают с отсечкой тока в режиме В. В подобных устройствах угол отсечки выбирается близким к 90° . Это необходимо для обеспечения максимального коэффициента усиления по мощности. В системах связи часто транзисторы переводят в режим АВ, который отличается большей линейностью АЧХ и ФЧХ, чем режим В.

Если требуемая выходная мощность передатчика превышает номинальную выходную мощность транзистора на данной рабочей частоте, применяются схемы сложения мощностей. Параллельное включение транзисторов используется крайне редко из-за значительного ухудшения параметров усилительного модуля, так как при параллельном включении транзисторов не только снижается надежность схемы из-за сильного разброса их параметров, но и возникает опасность самовозбуждения усилителя. Кроме того, снижаются входные и нагрузочные сопротивления транзисторов. Вследствие этого для получения высокой выходной мощности необходимо применять схемы сложения мощностей многих однотипных транзисторов, работающих синфазно и выделяющие в нагрузку одинаковую мощность.

Разработка усилителей на базе конструктивно законченных усилительных модулей повышает его надежность и позволяет унифицировать элементную базу передатчиков различной мощности, работающих в одном частотном диапазоне. К недостаткам модульных устройств стоит отнести наличие большого числа межмодульных соединений, а также сложность коммутирующих устройств при использовании схем обхода отказавшего модуля. В ряде случаев недостатком СВЧ-модулей является бинарность входов сумматоров, поскольку при бинарном сложении мощностей общее число суммируемых одиночных усилителей составляет $N = 2^m$, где $m = 1, 2, 3, \dots$ – число ступеней мостового сумматора. Например, при необходимости сложения мощностей 10-и усилительных модулей приходится использовать сумматор на 16, что может значительно повысить стоимость всего передатчика.

В передатчиках широкополосных систем связи применяются только сумматоры с развязкой входов, поскольку при использовании простой схемы без развязки трудно корректно сложить мощности одиночных усилителей, при отключении даже одного из них.

К мостовым устройствам относятся многополюсники, с помощью которых обеспечивается совместная и взаимно независимая работа нескольких генераторов (усилителей) ВЧ колебаний на общую нагрузку. Мостовые сумматоры обычно анализируются по следующим основным параметрам:

- количество подключенных развязанных генераторов (усилителей мощности), N ;
- коэффициент деления мощности m . При $N > 2$, как правило, $m = 1$;
- мощность P источников суммируемых мощностей, Вт;
- номинальное сопротивление входов сумматора, Ом;
- коэффициенты отражения – Γ ; КСВ.

Для систем подвижной связи стандартов CDMA и TDMA, которые работают в диапазонах 800...900 МГц, 1800...1910 МГц, характеристики мостовых сумматоров (делителей) обычно находятся в пределах следующих величин:

- количество суммируемых усилителей мощности $N = 2 - 16$;
- максимальная пиковая мощность, $P = 2$ кВт;
- КСВ по напряжению при полной нагрузке – от 10,0 – 1 до 1,2 – 1;

- развязка входов сумматора: 45 – 70 дБ;
- потери мощности в сумматоре: 3 – 8 дБ.

Наиболее хорошо показали себя радиальные сумматоры, которые используются как в системах сотовой связи, персональных системах связи, так и в радиолокационных системах. Они позволяют суммировать мощности большого количества независимых, развязанных генераторов (усилителей) и имеют наименьшие потери.

В частности мощный СВЧ-усилитель, построенный с применением 16-ти канальных радиальных сумматоров, работающий в диапазоне от 5,3 до 18 ГГц, имеет следующие параметры: уровень выходной мощности: $P_{\text{дБ}} = 36 - 50$ дБмВт; уровень мощности насыщения: $P_{\text{нас}} = 37 - 51$ дБмВт; коэффициент усиления – 40 – 60 дБ; КСВ по напряжению — не более 2,0 – 1; коэффициент шума — не более 12 дБ.

Широкое применение в передающей технике нашли квадратурные сумматоры в случае применения которых, значительно упрощается проблема согласования генератора с предыдущим каскадом и нагрузкой. Разработанный современный квадратурный сумматор может использоваться в системах связи стандартов TDMA и CDMA и имеет следующие параметры:

- количество входов $N = 4$;
- диапазон рабочих частот $\Delta f = 850 \dots 870$ МГц;
- шаг частот: 0...100 МГц;
- потери мощности в сумматоре: 6,5 – 7 дБ;
- максимальная пиковая мощность $P = 2$ кВт;
- КСВ по напряжению: не более 1,25 – 1;
- развязка между двумя входами: 70 дБ;
- развязка между одним входом и антенной: 55 дБ.

Литература

1. V. Borich, J.H. Jong, J. East and WE. Stark, Nonlinear Effects of Power Amplification on Multicamer Spread Spectrum Systems, 1998 IEEE MTT-S Digest, p. 323.
2. Kozlov E.J. Nefedov V. Application of clamping amplifiers at analog-digital signal processing. DSPA '2000, 3-rd International Conference: Digital Signal Processing And Its Applications. Moscow. Russia. 2000. Proceedings – 2, p. 228 – 230.
3. L.P.B. Katehl, G.M. Rebeiz and C.T.C. Nguyen, MEMS and Si-micromachined Components for Low Power, High Frequency Communication Systems, 1998 IEEE MTT-S Digest, p. 331.
4. P.M. Asbeck, T. Itoh, Y. Qian, M.F. Chang, L. Milstein, G. Hanington, P.F. Chen, V. Schultz, D.W. Lee and J. Arun., Device and Circuit Approaches for Improved Linearity and Efficiency in Microwave Transmitters, 1998 IEEE MTT-S Digest, p. 327.

