Материалы VII Международной научно-технической конференции,
23 – 27 ноября 2010 г.

МОСКВА **INTERMATIC – 2 0 1 0, часть 1** **МИРЭА**

ШИРОКОПОЛОСНЫЕ ТРАНЗИСТОРНЫЕ УСИЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ СВЧ ДИАПАЗОНА

© 2010 г. Н.А. КУШНАРЕВ, А.В. БАЛАШОВ, В.В. ЮВАЧЕВ,
Е.И. ВОСТРИКОВ, А.С. ИСАЕВ

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

Подвижные системы радиосвязи играют все большую роль в жизни современного общества. Однако при проектировании новых систем разработчики столкнулись с рядом технических противоречий. С одной стороны, для передачи качественной информации необходимо применять сложные виды сигналов, поддерживающих высокоскоростные потоки данных, а с другой стороны, для увеличения времени действия питающих батарей необходимо снижать уровни излучаемых сигналов и потребляемую системой мощность. Значительно сгладить указанные противоречия и найти компромиссное техническое решение позволит использование новых технологий при разработке СВЧ-устройств с высоким КПД и малыми уровнями шумов. Для обеспечения высокого КПД выходных модулей системы связи при низком напряжении питания необходимы СВЧ-транзисторы с малым внутренним сопротивлением в открытом состоянии. И для приемников, и для передатчиков принципиально важно использование устройств с повышенной линейностью. Не следует также забывать о жестких требованиях, предъявляемых к шумам.

Обычно СВЧ-усилители мощности строят на основе усилительных модулей, которые представляют собой конструктивно законченные радиотехнические устройства с заданными параметрами, определенными техническим заданием. В качестве активного элемента в современных мощных усилительных модулях обычно применяются полевые и, реже, биполярные транзисторы. Биполярные транзисторы применяются на частотах до 5…6 ГГц и лишь в тех случаях, когда не требуется высокая линейность передаточных характеристик. Вместе с тем применительно к системам мобильной связи, отметим, что на частоте 1 ГГц выходная мощность биполярных транзисторов значительно выше мощности, которую могут обеспечить полевые транзисторы. Например, при работе в режиме АВ, выходная мощность насыщения биполярных транзисторов составляет порядка 150 Вт, а полевых – от 30 до 90 Вт. Данные показатели обуславливают преимущественное применение биполярных транзисторов в выходных каскадах мощных СВЧ-усилительных модулей для сравнительно низкочастотных систем с низкой линейностью характеристик.

Однако, даже при их более высокой стоимости, по сравнению с биполярными, полевые транзисторы нашли широкое применение в каскадах мощных усилительных модулей передатчиков систем сотовой связи, обеспечивая большую линейность характеристик и обладая достаточным коэффициентом усиления. Так, на частоте 1 ГГц горизонтальные двухдиффузионные МОП-транзисторы способны работать, обеспечивая коэффициент усиления по мощности 11 дБ, а полевые транзисторы, выполненные на арсениде галия (GaAs) – 14 дБ. У полевых транзисторов стоит отметить меньшую зависимость их свойств от температуры, отрицательный температурный коэффициент для тока стока, отсутствие вторичного пробоя, что значительно повышает надежность схем. Благодаря тому, что полевые транзисторы обладают рядом преимуществ, снимается ограничение на нижнюю граничную частоту, и так как они обладают более высокими входным и выходным (нагрузочным) сопротивлениями, МДП-транзисторы более пригодны для построения широкополосных схем с рабочими частотами в диапазоне $0 < F < F_{\max}$. Говоря о других усилительных элементах, отметим, что на частотах от 6 ГГц до 18 ГГц хорошо показали себя полевые транзисторы с барьером Шотки, которые превосходят биполярные транзисторы по уровню выходной мощности. Однако полевые транзисторы с барьером Шотки уступают ЛПД по уровню мощности в непрерывном режиме на частотах выше 10 ГГц. ЛПД могут выгодно использоваться на частотах, вплоть до 200…250 ГГц.

В современных системах сотовой связи наметился переход от биполярных транзисторов, устанавливаемых в выходных каскадах усилителей мощности базовых станций к полевым транзисторам с боковой диффузией (Lateral Diffused – LD – MOSFET). Для выходных усилителей мобильных аппаратов наиболее перспективными устройствами являются транзисторы с гетеропереходом на основе арсенида галлия (GaAs HBT), вытесняя популярные до недавнего времени полевые транзисторы с затвором Шотки (MESFET). Это обусловлено стремлением поставщиков аппаратуры снизить стоимость проектируемых устройств. Снижение общей стоимости аппаратуры обусловлено не только применением новых элементов. Оно достигается также за счет уменьшения энергопотребления мощных усилителей, перевода транзисторов СВЧ-диапазона в пластмассовые корпуса и за счет отказа от дорогостоящих золотых покрытий.

В настоящее время большинство российских фирм, выпускающих СВЧ усилительные модули, в качестве активных элементов используют зарубежные транзисторы производства Motorola, Hewlett Packard, Mitsubishi, Xemod, Toshiba в силу технологических показателей и высокой линейности передаточных амплитудной и фазоамплитудной характеристик. Проанализируем параметры мощных СВЧ усилительных модулей диапазона 1000…2000 МГц линейного типа следующих фирм:

- *RF-Microwave* – выпускает СВЧ усилители диапазона 1000…2000 МГц с выходной мощностью 2-55 Вт;
- *MPD Technologies Inc.* – выпускает СВЧ усилители диапазона 1200…1400 МГц с выходной мощностью до 1 кВт;
- *Xemod* – выпускает СВЧ усилители диапазонов 869…894 МГц, 1805…1880 МГц, 1930…1990 МГц, 2110…217 МГц с выходной мощностью от 35 до 200 Вт.
- *Cree* – выпускает СВЧ усилители диапазона 1930…1990 МГц на новых полевых транзисторах на карбиде кремния (SIC).
- *Ultra RF* – выпускает СВЧ усилители для базовых станций CDMA и TDMA диапазона 1805…1880 МГц, мощностью 30, 45, 60 и 90 Вт.
- *Stanford Microdevices* – выпускает высоколинейные СВЧ-усилители на арсениде галия, в пластмассовых корпусах, для диапазона 5…2000 МГц.
- *Amplidyne Inc.* – выпускает СВЧ усилители диапазона 1805…1880 МГц (модели HPA1810, HPA1817, HPA1825, HPA1835) с выходной мощностью 10, 17, 25 и 35 Вт, соответственно;
- *Amplifier Research* – выпускает СВЧ усилители диапазона 0,8…4,2 ГГц (модели 10S1G4, 25S1G4 и 50S1G4) с выходной мощностью 13, 30 и 60 Вт, соответственно;
- *Down East Microwave Inc.* – выпускает усилитель L диапазона (1240…1300 МГц) с выходной мощностью до 80 Вт;
- *Mitsubishi Electric Corporation* – выпускает СВЧ усилители диапазона 1240…1500 МГц на биполярных транзисторах с выходной мощностью до 16 Вт;
- *Microwave & RF* – выпускает широкополосные усилители диапазона 950…2300 МГц с выходной мощностью от 2 до 120 Вт;
- *SSB Technologies, Inc.* – выпускает усилители диапазона 1,7…2 ГГц с выходной мощностью 15 Вт;
- *Spectrian Corporation* – выпускает СВЧ усилители линейного типа диапазона 869…894 МГц с выходной мощностью до 100 Вт.

Приведенные сведения по мощным СВЧ усилительным модулям линейного типа позволяют сделать следующие основные выводы.

1. При работе с многочастотным сигналом, для минимизации ИМИ в выходном спектре необходимо ввести в передатчик устройство коррекции АХ и ФАХ, а также обеспечить высокую линейность и стабильность АЧХ и ФЧХ усилительных модулей в заданной полосе частот.

2. Построение усилителя на базе конструктивно законченных усилительных модулей повышает его надежность, упрощает его техническое обслуживание, позволяет унифицировать элементную базу передатчиков различной мощности, работающих в одном частотном диапазоне.

3. Выпускаемые, различными фирмами СВЧ усилители линейного типа работают в режиме класса «А» или «АВ» и имеют постоянную мощность потребления во всем динамическом диапазоне изменения мощности входного сигнала.

4. Чем лучше линейные свойства усилителя, тем ниже его КПД. Так усилитель, имеющий уровень комбинационных составляющих –70 дБ имеет КПД 10%, а при уровне комбинационных составляющих -(25…30) дБ, значение КПД не превышает 25…30 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Asbeck P.M., Itoh T., Qian Y., Chang M.F., Milstein L., Hanington G., Chen P.F., Schultz V., Lee D.W. and Arun J.* Device and Circuit Approaches for Improved Linearity and Efficiency in Microwave Transmitters, 1998 IEEE MTT-S Digest, p. 327.
2. *Бочкарев Д.В., Никитин Д.В, Кищинский А.А., Радченко А.В.* Широкополосные усилительные модули диапазона 2-4 ГГЦ с выходной мощностью 50 и 100 Вт. Материалы 19 Крымской конференции "СВЧ техника и телекоммуникационные технологии", Севастополь, Вебер, 2009.
3. *Белов Л.Б.* Твердотельные усилители малой и средней мощности. Электроника: НТБ, 2006, № 5, с. 6 - 54.
4. *Кищинский А.А.* Широкополосные транзисторные усилители мощности СВЧ диапазона – смена поколений. "Электроника: Наука, Технология, Бизнес", № 2, 2010.