

УСИЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ

УМЕНЬШЕНИЕ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ

Современные усилители мощности (УМ), используемые в передатчиках беспроводных систем связи, потребляют более 50% энергетического бюджета этих систем. К тому же из-за недостаточно высокого КПД этих компонентов большая часть потребляемой мощности "уходит" в тепло. По мере того как все большее число базовых станций сотовых систем переходят на "зеленую" технологию, а функции сотовых телефонов расширяются и батарейное питание уже не способно обеспечить требуемый для работы многочисленных радиостанций энергетический ресурс, разработчики все больше внимания уделяют проблемам совершенствования усилителей мощности. Особый интерес представляет линейность усилителя, без которой нельзя добиться требуемых линейности характеристик и широкополосности радиостанций, в том числе и работающих в новейшем стандарте долгосрочного развития сетей связи четвертого поколения – Long Term Evolution, LTE.

КОНСТРУКЦИИ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ

Практически во всех средствах беспроводной и сотовой связи – стандартов cdma2000, WCDMA, HSPA и LTE – требуется линейное усиление мощности. Линейность усилителя важна для обеспечения нужной модуляции, а также для минимизации интермодуляционных искажений и гармоник. И достичь линейности усиления непросто, особенно для ВЧ-усилителей. Но с совершенствованием технологии появляется достаточно большое число новых изделий и методов, позволяющих выполнять требования к современным ВЧ-усилителям мощности.

Лучшую линейность усиления демонстрируют усилители класса А. Но максимальный КПД усилителей этого класса составляет 50%, а на практике он еще меньше. Вот почему большинство разработчиков УМ отдадут предпочтение усилителям класса АВ. Они обеспечивают большую линейную область работы, позволяют исключить искажения двухтактного усилителя. И к тому же ток покоя их невелик. КПД этих ус-

тройств может достигать 78%, но на практике он составляет 25–40%. Таким образом, сегодня большинство микросхем УМ представляют собой усилители класса АВ.

МИКРОСХЕМЫ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ

В передатчиках, как правило, используются микросхемы усилителей мощности, исключение составляют лишь мощные усилители, которые выполняются на основе дискретных транзисторов. Большая часть микросхем УМ представляет собой усилители класса АВ и выполняется на арсениде галлия (GaAs), фосфиде индия галлия (InGaP) и кремнии-германии (SiGe). Выходная мощность их составляет 15–28 дБмВт. Предназначены они в основном для беспроводных систем связи стандартов WiFi, Bluetooth, WiMAX и др.

Модули тракта высокой частоты

Сегодня самым "горячими" изделиями, предназначенными для беспроводных систем связи, становятся микросхемы тракта высокой частоты, что объясняется достигаемыми с их помощью выгодами. В такую микросхему входят малошумящий усилитель (LNA), усилитель мощности, переключатель режима передачи/приема (Tx/Rx-переключатель) и многие дополнительные согласующие компоненты и фильтры. В прошлом эти отдельные компоненты требовали особого внимания при проектировании системы, не говоря о занимаемой ими площади плат, что приводило к высоким затратам на требуемые материалы и оборудование. Размещение большей части устройств входного блока высокой частоты на одном кристалле – дар производителям. Так, микросхема двухдиапазонного блока высокочастотного тракта систем WiFi* AWL9966 компании Anadigics содержит LNA, УМ, Tx/Rx-переключатель и все согласующие компоненты, требуемые для работы в диапазонах 2,4 и 5 ГГц. Кроме того, в микросхеме предусмотрен ВЧ-переключатель режима Bluetooth, обеспечивающий работу

* Объем отгрузок сотовых телефонов, соответствующих спецификации WiFi, к концу 2010 года увеличится вдвое по сравнению с январем 2008 года. А по данным консультативной компании In-Stat, к 2011 году самой большой объем продаж WiFi-устройств придется на долю сотовых телефонов, а не мобильных компьютеров.

В.Шурыгина



в режимах Bluetooth и WiFi от одной совместно используемой антенны без дополнительных переключателей (рис.1). И все это в микросхеме размером 4×4×0,6 мм.

Выходная линейная мощность при работе в стандарте 802.11a (частотный диапазон 5 ГГц) составляет 18 дБмВт при потребляемом токе 160 мА и амплитуде вектора ошибок 3%. В стандарте 802.11g (2,4 ГГц) эти параметры составляют 20 дБмВт, 190 мА и 3% соответственно. Коэффициент усиления в линейном режиме в обоих частотных диапазонах равен 31 дБ, коэффициент шума на частоте 2,4 ГГц при усилении 12 дБ – 2,6 дБ; на частоте 5,5 ГГц при усилении 14 дБ – 3,0 дБ. Вносимые потери тракта приема/передачи в режиме Bluetooth не превышают 0,8 дБ. Новая микросхема позволяет значительно сократить сроки проектирования, число используемых компонентов и стоимость материалов, обеспечивая в то же время большой рабочий диапазон частот и надежность систем.

Требованиям рынка беспроводных систем отвечают и изделия многих других производителей. Компания NEC Electronics через California Eastern Laboratories (CEL) – партнерам по продажам и маркетингу своего отделения приборов на полупроводниковых соединениях – в середине 2009 года начала отгрузки микросхемы UPG2253T6S, содержащей усилитель мощности, фильтр нижних частот и два однополюсных переключателя на два направления. Микросхема предназначена для модулей стандарта Bluetooth, устанавливаемых в портативных компьютерах, сотовых и головных телефонах, а также для модулей спецификаций ZigBee/802.15.4, которые широко используются в автоматических устройствах считывания показателей счетчиков, беспроводных системах безопасности, средствах освещения административных и жилых зданий, работающих в диапазоне 2,4 ГГц.

Выходная мощность усилителя составляет 19 дБмВт, КПД – 28%, подавление второй гармоники – -25 дБ, третьей гармоники – -40 дБ. Элемент цепи прямой/обходной передачи обеспечивает подключение УМ, когда требуется высокая выходная мощность, или обходное подключение, когда она не требуется. Линия прямой/обходной передачи может использоваться и как линия входа. Напряжение питания микросхемы составляет 3 В, диапазон рабочих температур – -45...85°C. Поставляется микросхема в 16-выводном корпусе типа QFN размером 3×3×0,7 мм.

В начале 2009 года появились первые микросхемы тракта высокой частоты молодой компании RFAxis, образованной в январе 2008 года и специализирующейся в области создания инновационных ВЧ-устройств, предназначенных для беспроводных систем. Первые схемы компании RFX2401 и RFX2402 выполнены по БикМОП-технологии и предназначены для замены традиционных крупногабаритных многокристальных модулей тракта высокой частоты. По утверждению разработчиков, микросхема RFX2401 – первая на рынке однокристальная микросхема, объединяющая все элементы трак-

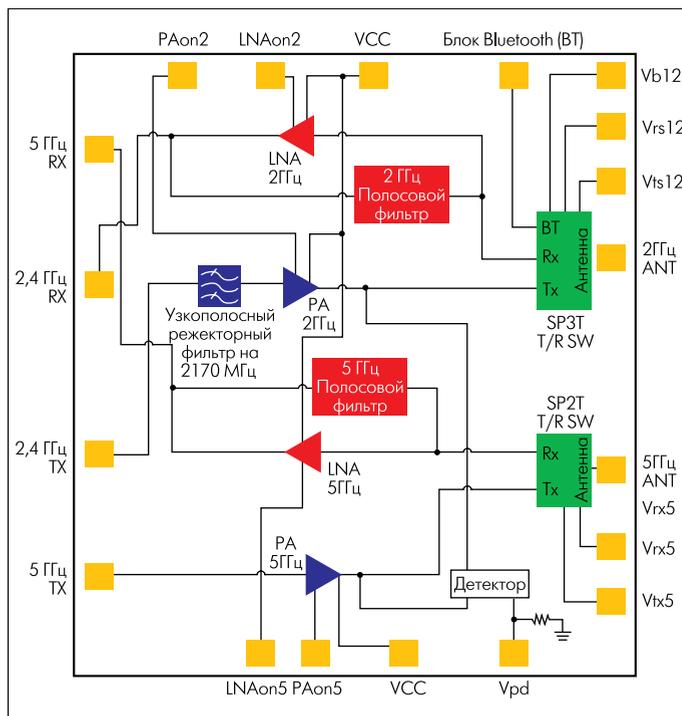


Рис.1. Блок-схема микросхемы ВЧ-блока ВЧ-тракта AWL9966

та высокой частоты. Микросхема содержит УМ, малошумящий усилитель, схемы переключения приема/передачи, соответствующую схему согласования и гармонический фильтр. Предназначена она для применения в устройствах класса 1 стандарта Bluetooth и в однопортовых системах стандарта ZigBee, работающих в полосе частот 2,4–2,5 ГГц. Единственными внешними компонентами, требуемыми для работы, являются фильтр нижних частот для непосредственного подключения к микросхеме беспроводного передатчика (рис.2) и развязывающий конденсатор.

Коэффициент усиления передающего канала составляет 21 дБ, выходная мощность для системы Bluetooth, работающей со скоростью передачи 3 Мбит/с и модуляцией 8PSKB – 16 дБмВт. В системе ZigBee с модуляцией OQPSK и скоростью передачи 250 Кбит/с – 20 дБмВт. Коэффициент усиления малошумящего усилителя – 10 дБ, коэффициент шума

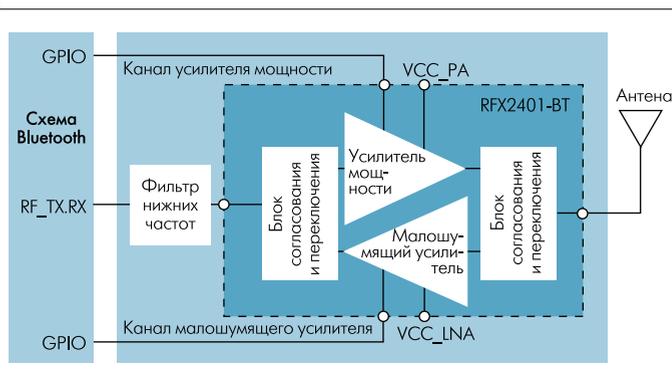


Рис.2. Подключения микросхемы модуля тракта высокой частоты RFX2401 к системе Bluetooth

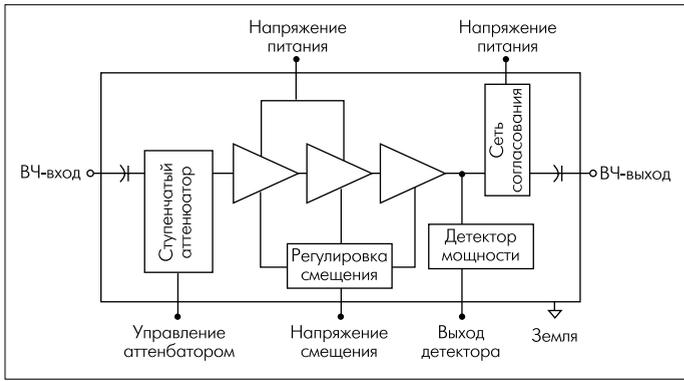


Рис.3. Функциональная блок-схема усилителя мощности AWM6433

– 3 дБ. Вносимые потери переключателя режимов приема/передачи равны нулю. Напряжение питания микросхемы составляет 2,7–3,6 В, ток в режиме ожидания – 5 мкА. Поставляется микросхема в 16-выводном корпусе типа QFN размером 3×3×0,9 мм.

Микросхема RFX2402 аналогична RFX2401. Предназначена для систем доступа стандартов 802.11b и 802.11g беспроводных локальных сетей, ПК и других устройств стандарта WiFi. Коэффициент усиления принимаемого сигнала составляет 8 дБ, выходная мощность в системах 802.11n и 802.11g при модуляции OFDM и скорости передачи 54 Мбит/с – 15 дБмВт, в системах стандарта 802.11b – 19 дБмВт.

Компания поставляет опытные образцы обеих схем. Ведется разработка еще одного варианта микросхемы высокочастотного тракта на частоту 5 ГГц – RFX2405. Микросхема содержит двойной Rx/Tx-переключатель для Bluetooth/WLAN-систем.

Усилители мощности

Примером изделий этого типа могут служить УМ на основе InGaP биполярных гетеротранзисторах компании Anadigics – ведущего производителя высокорентабельных ВЧ-микросхем для бытовой техники и телекоммуникационных систем. Компания постоянно пополняет семейство WiMAX УМ для абонентских систем, работающих в диапазонах 2,3–2,4 ГГц (для Южной Кореи и Малайзии), 2,5–2,7 ГГц (для России, США, Тайваня, Японии) и 3,4–3,6 ГГц. В 2009 году Anadigics одной из первых выпустила УМ для WiMAX приемопередатчиков 4G мобильных систем, работающих в стандартах IEEE802. 16e-2005, IEEE802. 16d-2004 и ETSI EN301-021*.

КПД нового УМ типа AWM6433 превышает 20% при выходной мощности 24 дБмВт и напряжении питания 3,3 В. С увеличением напряжения питания до 4,2 В максимальная линейная выходная мощность увеличивается, что и обеспечивает перспективность нового усилителя для применения в 4G системах (системах мобильной связи четвертого поколения). В микросхему УМ входят 25-дБ ступенчатый

аттенуатор, детектор выходной мощности, а также схемы согласования входного и выходного импедансов (рис.3). Приводятся следующие характеристики усилителя мощности AWM6433:

Напряжение питания, В.....	2,9–4,2
Ток (при P _{вых} = 24 дБмВт), мА.....	325
Коэффициент усиления, дБ.....	30
Амплитуда вектора ошибок (EVM), %	
при P _{вых} = 23 дБмВт (напряжение питания 3,3 В).....	<3
при P _{вых} = 23 дБмВт (напряжение питания 4,2 В).....	4
при P _{вых} = 24 дБмВт (напряжение питания 4,2 В).....	<3

Поставляется в 12-контактном корпусе для поверхностного монтажа размером 4,5×4,5×1,0 мм.

В сентябре 2009 года компания выпустила микросхему УМ типа AWM6159. В нее входят два усилительных каскада: один, рассчитанный на работу в GSM 850/900 МГц, и второй – на диапазоны DCS/PCS (рис.4). При этом оба поддерживают работу схем полярной модуляции GMSK и 8-PSK в четырехдиапазонном режиме. Каждый каскад оптимизирован для обеспечения высоких значений КПД, выходной мощности и линейности в соответствии со спецификацией EDGE при сохранении КПД, присущего режиму GSM/GPRS.

В микросхему входит блок управления мощностью в режимах GMSK и EDGE, облегчающий переход из одного режима работы в другой. Именно эта особенность ранее выпущенного УМ типа AWT6280 сделала его весьма популярным и привела к применению его в более чем миллионе сотовых телефонов, смартфонах и информационных устройств. К тому же новая микросхема AWM6159 размером 5×5×1 мм на 49% меньше предшествующей модели УМ. Блок управления мощностью содержит и схему регистрации напряжения батареи, предназначенную для обеспечения требуемого выходного ВЧ-сигнала при уменьшении напряжения питания. Диапазон управления мощностью составляет 55 дБ. Для всех ВЧ-портов предусмотрены защита от электростатического разряда и согласование с 50-Ом нагрузкой.

В режиме GMSK выходная мощность и КПД при работе в GSM-диапазоне 850/900 МГц составляют 35 дБмВт и 55% соответственно, в DCS/PCS-диапазонах – 33 дБмВт и 51%. В режиме

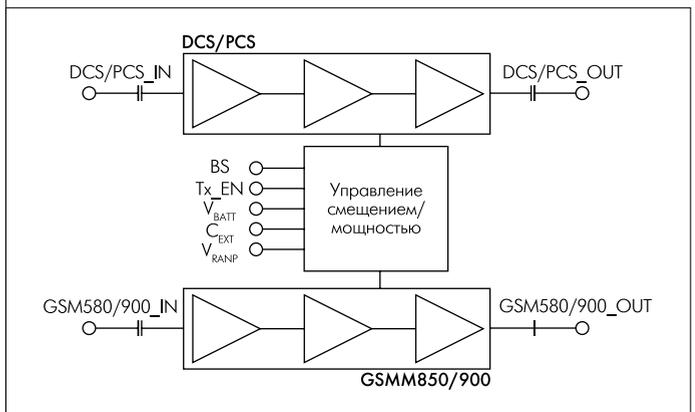


Рис.4. Блок-схема УМ AWM6159

* Согласно данным компании Juniper Research, специализирующейся в области анализа рынка мобильных и беспроводных систем, к 2013 году будет продано более 80 млн. абонентских WiMAX систем стандарта IEEE802. 16e, и их объем продаж достигнет 23 млрд. долларов.



EDGE эти параметры в GSM-диапазоне 850/900 МГц составляют 29 дБмВт и 28%, в DCS/PCS-диапазоне – 28,5 дБмВт и 28%. В режиме EDGE ослабление мощности по соседнему каналу на частоте 400 кГц составляет 64 дБ, на частоте 600 кГц – 74 дБ.

На Международном симпозиуме по СВЧ-технике 2009 года компания Analog Devices представила новый УМ типа ADL5604, который может быть использован как выходной усилитель, так и как задающее устройство другого более мощного усилителя. УМ класса А, выполненный на GaAs биполярных гетеротранзисторах (HBT), сочетает высокую выходную мощность (1 Вт) и широкий диапазон рабочих частот (400–2700 МГц). Микросхема УМ содержит компоненты согласования и защиты, а также блок активной регулировки смещения, позволяющий сократить число используемых внешних компонентов. На частоте 2140 МГц усиление составляет 14,2 дБ при выходной мощности P1dB 29 дБмВт, OIP3 – 42,6 дБмВт. Потребляемый ток усилителя равен 325 мА при напряжении питания 5 В. Усилитель смонтирован в совместимый по размерам с кристаллом корпус с 16-выводной рамкой (Lead-Frame Chip-Scale Package, LFCSP) размером 4×4 мм. Диапазон рабочих температур составляет -40...85°C.

Усилитель мощности ADL5604 может использоваться в устройствах стандартов cdma2000, WCDMA, WiMAX, GSM, ISM, PCS и LTE.

Ряд миниатюрных линейных УМ для портативных систем стандартов WiFi и WiMAX выпустила компания Avago Technologies. Микросхемы серии MGA-2xx03 выполнены на основе GaAs псевдоморфных транзисторов с высокой подвижностью электронов, работающих в режиме обогащения (E-pHEMT). Новая серия УМ перекрывает частотные диапазоны 2,3–2,7 ГГц (MGA-22003), 3,1–3,8 ГГц (MGA-23003) и 5,1–5,9 ГГц (MGA-25203). УМ серий MGA-22003 и MGA-23003 отвечают жестким условиям спектральной маски форума Wimax 802.16 при мощности до более 25 дБмВт. Усиление УМ обеих серий превышает 34 дБ во всем диапазоне частот, КПД на частоте 2,5 ГГц – 21%, усиление MGA-25203 – 30 дБ при выходной мощности 23 дБмВт и амплитуде вектора ошибок -34 дБ.

Микросхемы могут использоваться совместно с модулем однополюсного переключателя на четыре положения (SP4T) для выполнения всех функций ВЧ-интерфейса. Все выходы согласованы с 50-Ом нагрузкой. Предусмотрены режимы защитного отключения и пониженного потребления при токе ~100 мА. Напряжение питания составляет 3–5 В. Монтируется микросхема УМ в корпус размером 3×3×1 мм. Диапазон рабочих температур составляет -40...85°C.

Высокие усиление и линейность выходной мощности в широком частотном диапазоне, малый ток потребления позволяют разработчикам использовать одно изделие в системах различного назначения, что способствует снижению стоимости аппаратуры.

Первые ВЧ-микросхемы выполнялись на арсениде галлия и, как видно, до сих пор микросхемы усилителей мощности

в основном изготавливаются на полупроводниковых соединениях. Но вместе с тем наблюдается тенденция к изготовлению более дешевых устройств, работающих на более низких частотах, с помощью стандартной КМОП-технологии. Правда, эта тенденция пока слабее выражена для микросхем усилителей мощности. Это объясняется, во-первых, тем, что напряжение пробоя КМОП-схем УМ не превышает 10 В, тогда как в схеме усилителя на выходную мощность 2 Вт напряжение пробоя должно составлять 20 В. Во-вторых, выходной сигнал УМ должен быть согласован с 50-Ом нагрузкой, что требует применения элементов индуктивности высокого качества, которые трудно изготовить с помощью КМОП-технологии. И, наконец, рабочие характеристики КМОП-приборов на частотах более 1 ГГц недостаточно высокие.

Вот почему интерес представляет первый двухдиапазонный GSM/GPRS-усилитель мощности AX502 компании Axiom Microdevices*, выполненный по 0,13-мкм КМОП-технологии с семью слоями металлизации. При этом для повышения добротности элемента индуктивности толщина двух верхних слоев металлизации необычно большая – 3,1 мкм у седьмого слоя и 3,35 мкм у шестого. Микросхема поддерживает работу в GSM 850, E-GSM, DCS, PSC-диапазонах и диапазоне GPRS класса 12. Создание КМОП-микросхемы УМ оказалось возможным благодаря применению запатентованной компанией технологии формирования распределенного активного трансформатора (Distributed Active Transformer, DAT). В микросхеме реализованы две секции – одна представляет собой УМ L-диапазона (на частоты 1800 и 1900 МГц), вторая – УМ H-диапазона (на частоты 850 и 900 МГц). Практически каждая секция представляет собой автономный DAT, активные приборы которого управляют направлением протекания тока и его силой в обмотке. Кроме того, микросхема содержит блок согласования входа и выхода по 50-Ом нагрузке, блок управления выходной мощностью с замкнутой обратной связью, который обеспечивает степень управления более 100 дБ/В, и блок ограничения тока при рассогласовании нагрузки, что позволяет исключить внешние связующие элементы, детекторы и усилители рассогласования. Мощность входного ВЧ-сигнала лежит в диапазоне -2...8 дБмВт. Напряжение питания составляет 2,9–5,5 В. Монтируется микросхема в корпус с микровыводной рамкой размером 5×5×0,9 мм.

Надежность КМОП-микросхемы двухдиапазонного УМ подтверждена испытаниями в жестких рабочих условиях: при более высокой, чем рекомендуется, рабочей температуре, более длительном рабочем цикле, рассогласовании нагрузки свыше 10:1, при наихудших сдвигах по фазе и при повышенных значениях напряжения питания.

С момента объявления о выпуске КМОП-микросхемы УМ в середине 2006 года по декабрь 2008-го компания Axiom отгрузила своим заказчикам 2,5 млн. УМ AX502.

* В первой половине 2009 года Axiom Microdevices была приобретена компанией Skyworks.

В 2008 году компания выпустила новый вариант КМОП-микросхемы двухдиапазонного УМ для GSM/GPRS сотовых телефонов и информационных систем – AX508. КПД нового усилителя составляет 50% при выходной мощности 35 дБмВт против 47% у AX502. Монтируется микросхема AX508 в корпус размером 5×3,5×0,9 мм.

ВЧ-усилители мощности для 4G систем стандарта LTE

С завершением работ по определению спецификации долгосрочного развития (Long Term Evolution, LTE) для 4G систем ожидается, что в 2010–2011 годы появятся первые промышленные системы, отвечающие требованиям этой спецификации. По оценкам компании ABI Research, признанного авторитета в области исследований мобильного бизнеса, ожидается, что этот сектор рынка, наряду с развитием инфраструктуры беспроводных средств связи в Китае, будет способствовать росту мировых продаж ВЧ-усилителей мощности. И уже сегодня компании, представленные на рынке мобильных систем связи, готовятся к освоению этого сектора.

Одной из первых многодиапазонных и многодиапазонных усилителей мощности, работающих в режимах дуплексной связи с частотным (FDD) и временным (TDD) разделением каналов и предназначенный для 4G систем, выпустила компания Skywork Solutions. Усилитель мощности SKY77441 работает в диапазоне частот от 2,3 до 2,7 ГГц. Выходная мощность в линейном режиме составляет не менее 26 дБмВт при модуляции QPSK или QAM16, и не менее 28 дБмВт при модуляции, соответствующей стандарту WCDMA. Модуль усилителя мощности, помимо каскадов усилителей, содержит входную и выходную согласующие цепи и детектор мощности. Напряжение питания модуля равно 3,0–4,6 В, ток в нерабочем режиме – 100 мкА. Выполнен усилитель на базе InGaP биполярных/полевых транзисторах. Монтируется в 16-контактный корпус для поверхностного монтажа размером 4×4×0,85 мм.

Компания RF Micro Devices (RFMD) совместно с двумя ведущими производителями сотовых телефонов и двумя ведущими изготовителями оборудования базового диапазона активно участвует в разработке широкополосных сотовых телефонов 4G систем. Компанией созданы УМ RF6276 и RF3280, характеристики которых удовлетворяют требованиям спецификации LTE. Линейный усилитель мощности RF6276 рассчитан на работу в полосах LTE 12 и 13 (698–716 и 777–792 МГц соответственно). В модуле предусмотрено цифровое управление двумя значениями выходной мощности, что обеспечивает нужную выходную мощность, необходимую для выполнения жестких требований к линейности LTE стандарта. Кроме того, предусмотрен вывод цифрового управления, который позволяет в режиме малой мощности уменьшить потребляемый ток на 50%. Выходная мощность в этом режиме составляет 17 дБмВт при КПД 15%, в режиме высокой мощности выходной сигнал равен 27 дБмВт при КПД 34%. Изготовлен усилитель на основе GaAs

HBT. RF6276 поставляется в 16-выводном корпусе типа QFN размером 3×3×1 мм. Предназначен для применения в сотовых телефонах LTE стандарта с напряжением питания 3 В и в многодиапазонных беспроводных информационных картах.

Усилитель мощности RF3280 рассчитан на работу в полосе 7 LTE (2500–2700 МГц) и может использоваться в многодиапазонных мобильных устройствах стандартов WCDMA/LTE.

Усилитель создан с помощью квадратурной технологии УМ (известной как технология балансирования), позволяющей улучшить защищенность конечного изделия от несогласованности сигнала антенны и облегчить реализацию устройства. В УМ предусмотрено аналоговое управление смещением в сочетании с согласованным DC/DC-преобразователем напряжения, что обеспечивает динамическую регулировку нагрузочной линии и оптимизацию рабочих характеристик при работе сотового телефона в стандарте WCDMA или LTE. К тому же сочетание аналогового управления смещением и DC/DC-преобразователя позволяет оптимизировать КПД при всех уровнях мощности и уменьшить влияние теплового воздействия. Кроме того, в модуль УМ входит детектор выходной мощности, сигнал которого соответствует уровню выходной мощности усилителя. Поставляется усилитель в корпусе размером 4,0×4,0×1,14 мм.

МОЩНЫЕ ВЧ-ТРАНЗИСТОРЫ

Как уже отмечалось, высокоомощные УМ, используемые в базовых станциях систем сотовой связи, выполняются на основе дискретных мощных транзисторов, большей частью представляющих собой МОП-транзисторы, изготовленные поверхностной диффузией (LDMOS). Пример таких приборов – транзисторы MRF8S9100H/HS компании Freescale Semiconductor на частоту 920–960 и 1800–1900 МГц соответственно. Транзистор MRF8S9100H предназначен для усилителей класса AB или C, используемых в GSM/EDGE-системах. Средняя выходная мощность составляет 45 Вт, усиление – 19,1 дБ и КПД – 44%. Средняя выходная мощность MRF8S9100HS – 46 Вт, КПД – 42% и EVM – 1,7% на 1840 МГц.

Однако если нужны более высокие мощности, предпочтение отдается транзисторам на нитриде галлия (GaN) с большими значениями плотности мощности (до 8 Вт/мм), рабочего напряжения, напряжения пробоя затвор-сток и рабочей температуры перехода. Так, компания Cree выпустила GaN-транзисторы с высокой подвижностью электронов CGH09120F и CGH21240F, выходная мощность которых составляет 120 и 240 Вт. Транзисторы предназначены для мобильных систем связи WCDMA, LTE и WiMAX стандартов.

Транзистор CGH09120F рассчитан на диапазон частот от УВЧ до 2,3 ГГц, CGH21240F – на 1,8–2,3 ГГц. Коэффициент усиления транзисторов CGH09120F и CGH21240F составляет 21 и 15 дБ, уровень утечки в соседний канал – -38 дБн (при 20 Вт) и -35 дБн (при 40 Вт), КПД – 35% (при 20 Вт) и 33% (при 40 Вт) соответственно.

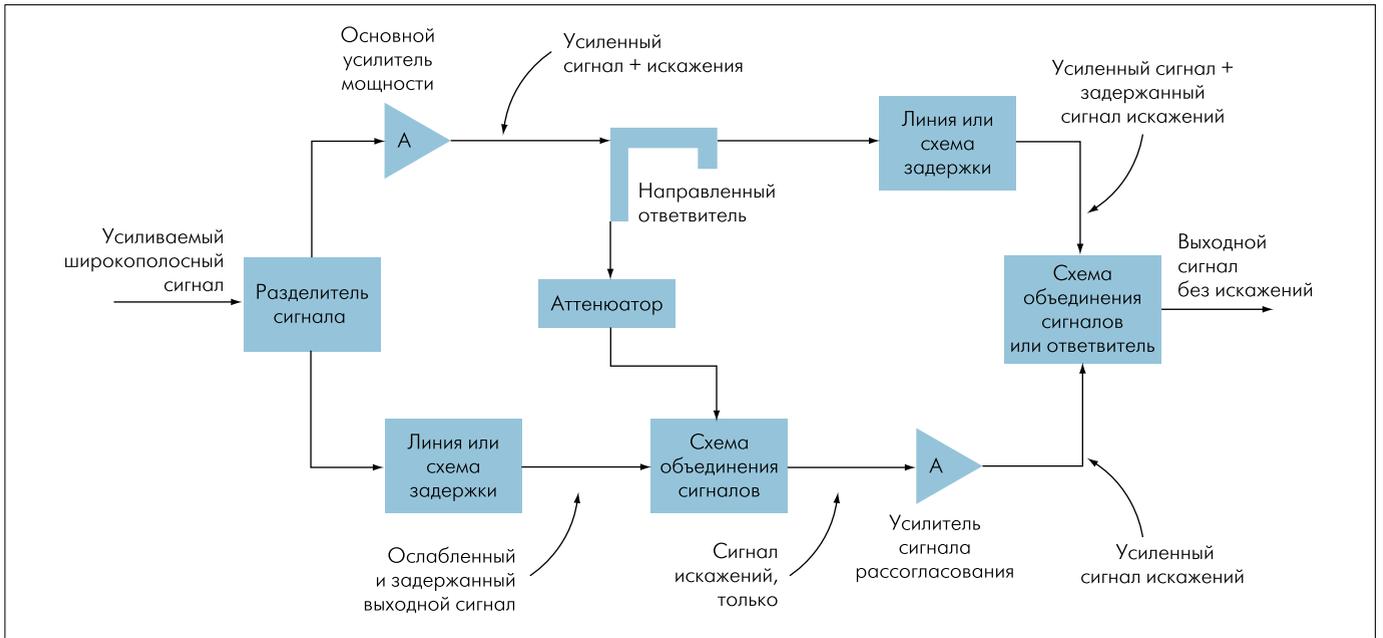


Рис.5. Схема широкополосного усилителя мощности с использованием техники упреждения

КОНСТРУКЦИИ МОЩНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Для обеспечения линейности, требуемой для режима работы на нескольких несущих, разработаны новые оригинальные решения, позволяющие повысить КПД при сохранении линейности при мощности от 10 до более 100 Вт. Ряд твердо-

тельных усилителей построены на основе параллельно соединенных конструкций относительно малой мощности. Расширяется применение техники упреждения (feed forward), которая заключается в подавлении любых возникающих искажений. Входной сигнал сначала разделяется и пересылается ос-

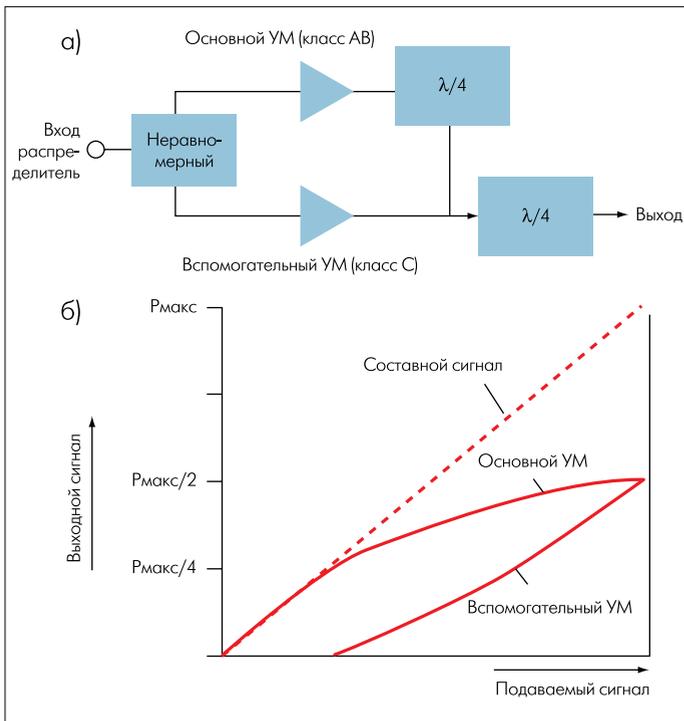


Рис.6. Усилитель мощности Догерти (а) и зависимость выходной мощности от входной (б)

новному усилителю мощности класса АВ, а также линии задержки, имитирующей задержку основного усилителя. Выходной сигнал усилителя с искажениями подается на направленный ответвитель, который ослабляет этот сигнал и объединяет с сигналом линии задержки. В итоге сигнал основного усилителя подавляется и остается только искаженный сигнал, который усиливается другим усилителем мощности, аналогичным основному усилителю. Этот искаженный сигнал объединяется с задержанным выходным сигналом основного усилителя, что приводит к подавлению искажений (рис.5). Эта техника позволяет получать хорошие результаты, но для корректировки изменений фазы, амплитуды и времени задержки требуется схема точной настройки. Из-за необходимости применения такой схемы и дополнительного усилителя мощности метод упреждения не находит широкого применения, но все же системы, работающие на основе этой техники, встречаются.

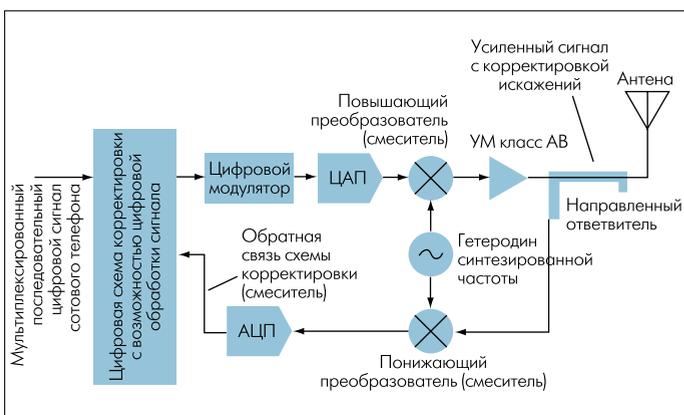


Рис.7. Метод коррекции предискажений

Другой техникой обеспечения линейности, которая в последнее время все больше привлекает внимание разработчиков, является усилитель Догерти, предложенный еще в 1936 году для мощных широкополосных и коротковолновых АМ передатчиков. Этот усилитель позволяет повысить КПД при высоких значениях отношения пиковой мощности к средней мощности, характерных для CDMA- и LTE-систем. В базовой конструкции усилителя мощности Догерти также используются два усилителя – один класса АВ и второй вспомогательный, или обостряющий, усилитель, обычно класса С (рис.6а). Основной УМ усиливает входные сигналы небольшой мощности, при этом вспомогательный усилитель отключен. Блоки $\lambda/4$ предназначены для согласования импедансов. Вспомогательный усилитель включается по достижении определенного уровня входного сигнала, после чего на нагрузку поступают сигналы обоих усилителей (рис.6б). Обычно уровень включения вспомогательного усилителя равен уменьшенному на 6 дБ уровню максимального составного сигнала. В результате обеспечивается линейность сигнала при высокой мощности. Точка включения второго усилителя выбирается в соответствии со схемой, в которой применяется усилитель Догерти, путем подбора отношения сигналов распределителя и/или смещения вспомогательного усилителя.

Широкое применение в системах улучшения линейности находит цифровая система коррекции предискажений (Digital Predistortion, DPD), позволяющая корректировать входной сигнал в соответствии с искажением, вносимым УМ (рис.7). Усиливаемые цифровые многочастотные сигналы пересылаются цифровой схеме корректировки, которая с помощью алгоритма цифровой обработки сигналов, передаваемых цепью обратной связи УМ, преобразует их в сигнал, обратный искажению. Предварительно искаженные сигналы передаются модулятору и затем ЦАП. Частота получаемого в результате ВЧ-сигнала преобразуется с повышением до желаемого значения и поступает на УМ класса АВ или усилитель Догерти. Коэффициенты корректировки цифровой схемы оптимизируются "на лету" с помощью сигнала направленного ответвителя, поступающего по цепи обратной связи.

На Международном симпозиуме по СВЧ-технике 2009 года компания Cree представила транзисторные усилители Догерти с КПД до 50%. Усилители выполнены на мощных GaN-транзисторах CGH09120F и CGH21240F компании и на высокопроизводительной микросхеме коррекции предискажений GC5325 компании Texas Instruments. В усилителе с КПД 50% использован 240-Вт транзистор CGH21240F. Диапазон рабочих частот усилителя составляет 2,11–2,17 ГГц, выходная мощность превышает 80 Вт при обеспечиваемом корректировкой уровне утечки WCDMA-сигнала в соседний канал -50 дБн во всем диапазоне рабочих частот. КПД усилителя на транзисторе CGH09120F, работающем в частотном диапазоне 870 МГц, равен 35%, средняя мощность – 20 Вт при уровне утечки WCDMA-сигнала в соседний канал -50 дБн в 25%-ной мгновенной ширине полосы пропускания.