

ОТ МОБИЛЬНОГО ТЕЛЕФОНА К УНИВЕРСАЛЬНОМУ УСТРОЙСТВУ (анализ структуры радиочастотных блоков)



С. И. ДИНГЕС,
МТУСИ

Беспроводная свобода, реализованная сотовыми операторами, оказалась очень удобной, и теперь мы ждем от мобильного телефона увеличения его функциональных возможностей. Производители аппаратов начинают выпускать терминалы с поддержкой различных частотных диапазонов и технологий, постепенно приближаясь к некому универсальному устройству, которое сможет работать во всех сетях мира. Для этого необходимо разместить в миниатюрном корпусе аппарата возрастающее количество плат и схем. В статье дается анализ структуры современных многодиапазонных радиочастотных блоков сотовых абонентских устройств, приводятся наиболее часто применяемые архитектуры приемопередающих трактов.

УНИВЕРСАЛЬНОЕ АБОНЕНТСКОЕ УСТРОЙСТВО БУДУЩЕГО

Анализ развития подвижной связи позволяет прогнозировать существенное увеличение числа пользователей мультимедийных услуг связи. Абонентское устройство будущего, кроме выполнения собственно функции обмена данными по радиоканалу, будет обеспечивать высококачественное отображение видеоинформации, ввод и хранение большого объема различного рода данных и обладать определенной вычислительной мощностью для их обработки.

Стремление разработчиков создать универсальное абонентское устройство, позволяющее оказывать мобильному

абоненту самый широкий спектр услуг с высоким качеством, приводит к необходимости разработки многодиапазонных (MultiBand) и многостандартных (многомодовых, многорежимных, MultiMode) телефонов. Такое устройство должно работать практически в любой точке Земли (глобально), в сетях различного типа с использованием разнообразных технологий. Причем концепция сетей IMT2000 and Beyond предполагает, что абонент сможет производить "бесшовный" незаметный для него переход между сетями с использованием единственного телефона. При этом должны использоваться сеть и технология, наиболее подходящие в конкретной ситуации, позволяющие производить обслужива-



Т.С. ДИНГЕС,
МТУСИ

ние абонента с наилучшим качеством. Такое универсальное устройство может использовать различные диапазоны частот, выделенные для функционирования систем мобильной связи.

Последние модели телефонов GSM уже являются четырехдиапазонными (800, 900, 1800 и 1900 МГц), что дает пользователям возможность их глобального использования. В настоящее время в них происходит интеграция диапазонов и технологий третьего и последующих поколений связи. При этом суммарная полоса частот, в которой предстоит работать телефонам, расширяется до 6 ГГц и более.

Разработка современных многодиапазонных и многорежимных устройств мобильной связи не является тривиальной задачей простого наращивания дополнительных трактов приема и передачи с размеще-

Wireless freedom realized by cellular operators turned to be very comfortable, and now we expect the increasing of the mobile phone functionality. Mobile phones manufacturers start to produce terminals that support different frequency bands and technologies, approaching gradually to a certain universal terminal which will be able to function in all the networks of the world. For that it is necessary to allocate the increasing number of cards and circuits in a miniature body of the device. The authors analyze the structure of modern multiband radio frequency blocks of cellular subscriber terminals and cite the most popular architectures of transmit-receive channels.

нием их в одном общем корпусе интегральной схемы [1]. К тому же такое устройство должно иметь малый вес, объем, энергопотребление и цену. Для этого необходимо решить следующие задачи:

— максимально объединить функциональные узлы радиочастотного (РЧ) блока для уменьшения их количества и совместного использования в различных РЧ-трактах;

— разработать оптимальный частотный план, обладающий минимальным уровнем помех различного рода;

— разработать структуры входного РЧ-модуля (ВРЧМ), позволяющего подключить одну или несколько многодиапазонных антенн к нескольким РЧ-трактам приема и передачи;

— создать маломощные сверхширокополосные управляемые генераторы (гетеродины, ГУН), перестраиваемые в диапазоне функционирования современных сотовых сетей;

— разработать широкодиапазонные высоколинейные усилители мощности, обладающие высоким КПД.



Таблица 1

АРХИТЕКТУРА ТРАКТОВ ПРИЕМА

Тип	Преимущества	Проблемы
Прямое преобразование вниз по частоте (Direct Downconversion)	Возможность создания многодиапазонных и многомодовых РЧ-блоков Аналоговый интерфейс с трактом ВВ (BaseBand)	Необходимость динамического управления и подавления смещения постоянной составляющей из-за опасности излучений его сигнала Нужна хорошая развязка РЧ ГУН с антенной Трудно использовать КМОП-технологии из-за фликкер-шума
РЧ близкая к нулю (Near-zero IF)	Аналоговый или цифровой интерфейс с ВВ (BaseBand) трактом;	Возможность использования КМОП-технологии Необходим АЦП с высоким динамическим диапазоном и сложная цифровая фильтрация; Необходим качественный смеситель с подавлением зеркального сигнала и преобразованием вниз Сложность реализации мультимодовых устройств

Таблица 2

АРХИТЕКТУРА ТРАКТОВ ПЕРЕДАЧИ

Тип	Преимущества	Проблемы
Петля трансляции (Translational PLL)	Отсутствие внешних элементов фильтрации Пригодна для видов модуляции с постоянной огибающей	Необходим высокочастотный, мощный ГУН Гибкий частотный ПЧ-план для минимизации внутридиапазонных паразитных излучений
Прямое преобразование вверх по частоте (Direct Upconversion)	Возможность создания многодиапазонных и многомодовых РЧ-блоков	Необходима хорошая развязка РЧ ГУН с антенной из-за опасности излучений его сигнала Большая чувствительность к рассогласованию рабочих параметров антенны Необходимость внешней РЧ-фильтрации для подавления широкополосного шума Необходимость использования высоколинейного усилителя мощности (УМ) для различных видов модуляции
Прямой синтез с дробным N (Direct Fractional-N Synthesis)	Возможность использования КМОП-технологии для реализации петли ФАПЧ Цифровой интерфейс с ВВ-трактом Пригодна для видов модуляции с постоянной огибающей	Необходимость подавления шумов квантования модулятора и гармоник опорного сигнала Точная установка параметров петлевого фильтра и ГУН

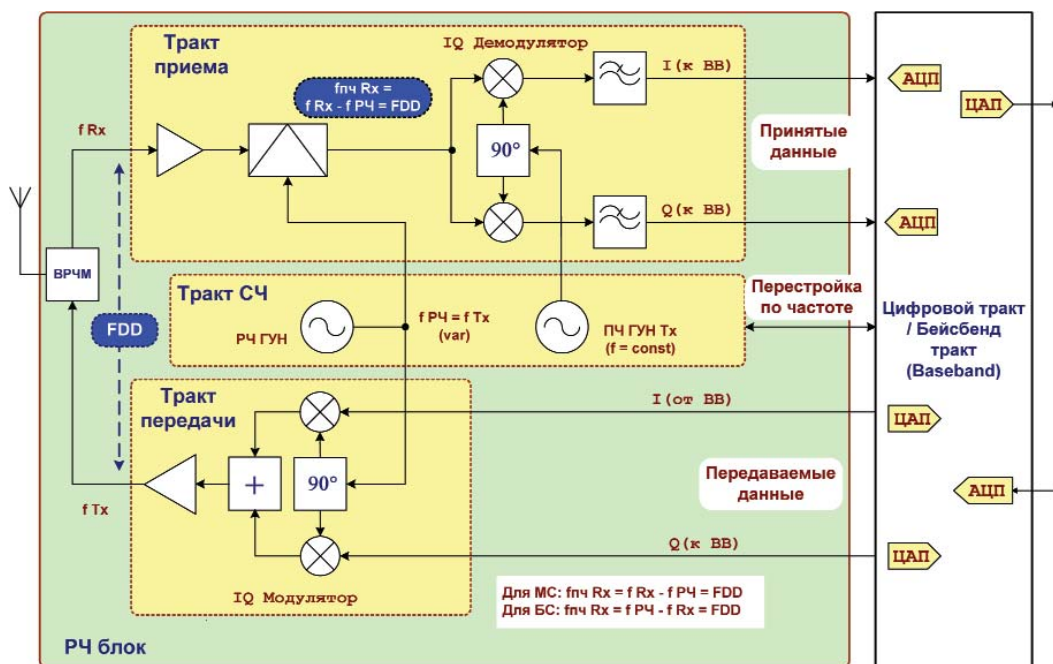


Рис. 1. Прямое преобразование в тракте передачи

АРХИТЕКТУРА И ЧАСТОТНЫЙ ПЛАН РЧ-БЛОКОВ

Анализ технических описаний многдиапазонных абонентских устройств стандарта GSM позволил выявить ряд наиболее часто используемых архитектур и структур РЧ-блоков, перспективных с точки зрения наращивания диапазонов и технологий. Для удобства достоинства и недостатки сведены в табл. 1 и 2.

В последнем релизе GSM для функционирования радиоборудования выделено уже 13 диапазонов [2]. Это не влечет за собой необходимость немедленной разработки универсального общего РЧ-блока для работы во всех диапазонах. Однако, учитывая дефицит GSM-частот, возможна комбинация различных диапазонов в РЧ-блоке с последующим освоением всех диапазонов.

На рис. 1 показана одна из возможных структур РЧ-блока,

в тракте приема которого используется значение промежуточной частоты, равное дуплексному сдвигу по частоте FDD. При этом в тракте передачи используется архитектура прямого преобразования, а в тракте приема — с одним преобразованием.

МНОГДИАПАЗОННЫЕ РЧ-БЛОКИ СИСТЕМ С ЧАСТОТНЫМ ДУПЛЕКСИРОВАНИЕМ

При построении многдиапазонных РЧ-блоков следует учитывать, что величина дуплексного сдвига FDD при переключении частотных диапазонов должна меняться, причем в широких пределах — от 10 до 95 МГц. Для выделенных диапазонов стандарта третьего поколения UMTS эта величина меняется еще сильнее — от 45 до 400 МГц [3].

В этом случае важной проблемой становится выбор опти-

мального частотного плана для устранения интермодуляционных помех. Причем оптимизированный для какого-либо диапазона частотный план при переходе на другой диапазон может стать абсолютно неприемлемым. Очевидно, что для компенсации различий в величине дуплексного сдвига при переключении рабочих диапазонов частотный план РЧ-блока должен меняться. Чаще всего для этого производят изменение значения ПЧ в тракте передачи. Менять значение промежуточной частоты в тракте приема нежелательно, так как при этом необходимо производить коммутацию нескольких фильтров ПЧ, имеющих к тому же значительные размеры. В петле же трансляции, обычно используемой в тракте передачи, изменение значения промежуточной частоты ПЧ T_x зачастую может быть произведено без коммутации элементов.

Как правило, частота РЧ ГУН для низкочастотной (НЧ) группы диапазонов выбирается большей из рабочих частот диапазона, а для ВЧ-диапазонов — меньшей (рис. 2). В этом случае при работе в НЧ- и ВЧ-диапазонах удастся обойтись применением одного общего широкополосного ГУН. Значения промежуточных частот в трактах передачи и приема должны быть достаточно высокими для уменьшения суммарного диапазона перестройки общего РЧ ГУН (рис. 3). В серийно выпускаемых абонентских многдиапазонных устройствах стандарта GSM значения ПЧ могут достигать 400 МГц как в тракте приема, так и в тракте передачи. При этом величина относительного изменения частот ПЧ T_x в НЧ- и ВЧ-диапазонах отно-

сительно значения ПЧ (коэффициент перестройки ГУН) уменьшается. Это зачастую позволяет не изменять параметры петли трансляции, используя одни и те же ее компоненты при коммутации диапазонов.

Значение ПЧ ГУН могут выбираться кратным $f_{пч} R_x, f_{пч} BЧ T_x$ и $f_{пч} HЧ T_x$. При этом необходимые значения этих частот целесообразно получать путем простого деления частоты ПЧ ГУН. Значение промежуточной частоты в тракте приема выбирается равным дуплексному сдвигу FDD, по крайней мере для одного (основного) из используемых диапазонов (см. рис. 1). В таком случае при работе в основном диапазоне не нужно будет производить постоянную перестройку РЧ ГУН при переходе из режима приема в режим передачи.

При реализации РЧ-блоков современных многодиапазонных и многостандартных устройств предпочтительно перекрывать требуемый широкий диапазон рабочих частот с помощью одного единственного ГУН. Это приводит к получению кристалла микросхемы меньшей площади и более простой структуры. Например, в трехдиапазонном РЧ-блоке GSM (GSM-900/1800/1900) при использовании архитектуры с прямым преобразованием частоты может быть применен единственный широкополосный ГУН, работающий на центральной частоте 3,8 ГГц (рис. 4). Чтобы охватить диапазоны GSM-1800 и GSM-1900, частота ГУН делится пополам, для использования в GSM-900 частота ГУН делится на 4. Проведенный анализ методов построения ГУН диапазонов 0,9 – 4,2 ГГц показал, что наиболее

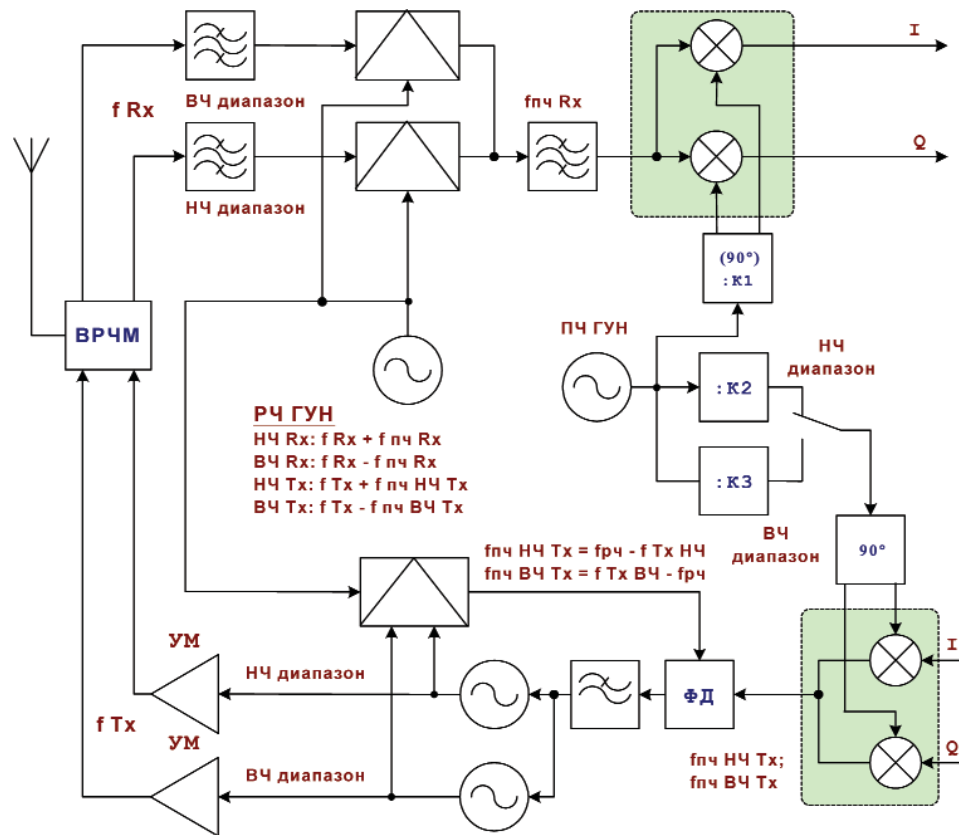


Рис. 2. Обобщенная структура многодиапазонного РЧ блока с изменяемой ПЧ в тракте передачи

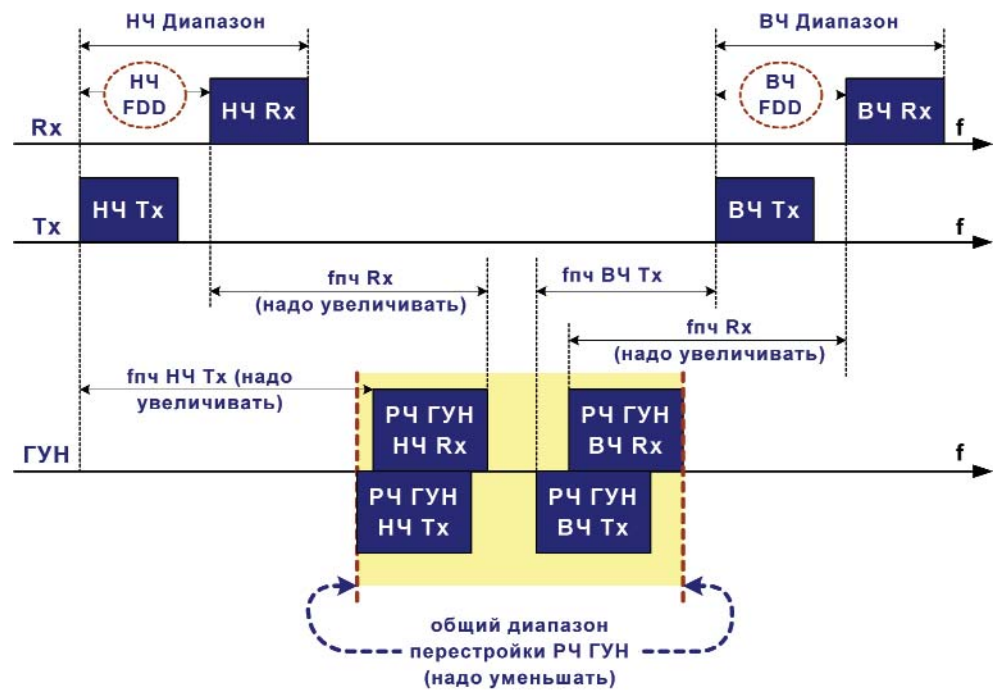


Рис. 3. Частотный план многодиапазонного РЧ блока с изменяемой ПЧ в тракте передачи

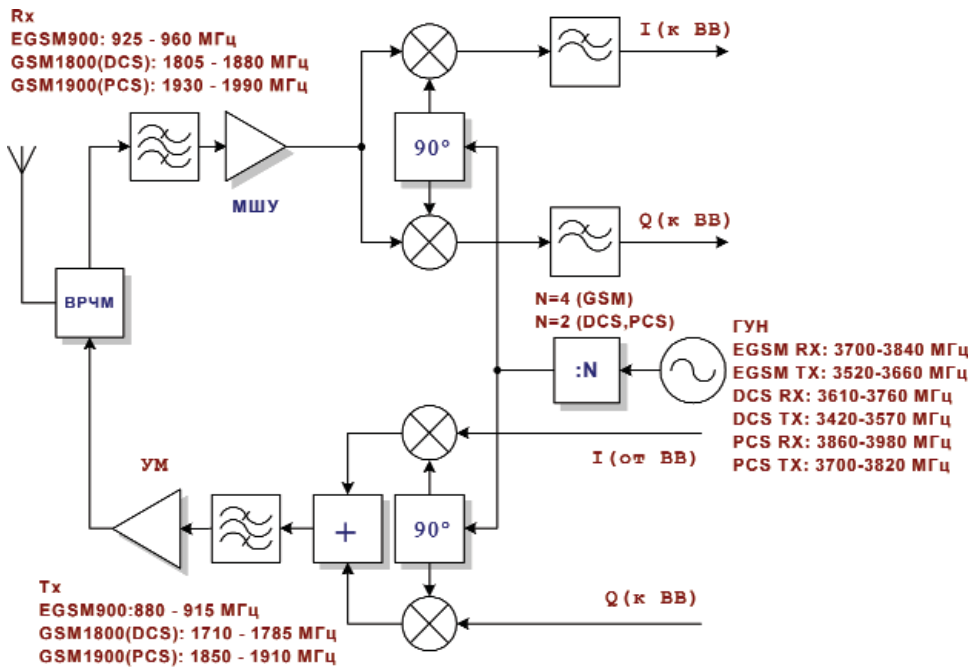


Рис. 4. Прямое преобразование в трехдиапазонном РЧ-блоке GSM с единственным ГУН

перспективными для использования в многодиапазонных и многостандартных РЧ-блоках абонентских устройств являются кольцевые генераторы (Ring Oscillator), состоящие из ряда последовательно включенных элементов задержки [4]. Кольцевые генераторы в настоящее время используются в системах ФАПЧ в качестве ГУН вплоть до частот 6 ГГц. Они обеспечивают широкий диапазон перестройки по частоте при достаточном постоянстве величины выходного напряжения, а также обладают возможностью работы при низковольтном питании.

СТРУКТУРЫ РЧ-БЛОКОВ СИСТЕМ С ВРЕМЕННОМ ДУПЛЕКСИРОВАНИЕМ

Частоты приема и передачи РЧ-устройств, использующих дуплексирование по времени TDD, равны. В тракте приема наиболее распространенной структуры РЧ-блока используется архитектура с одним преобразованием сигнала, в тракте передачи — прямое преобразование частоты. Для уменьшения в тракте передачи паразитных явлений, присущих архитектуре с прямой модуляцией на РЧ, в частности затягивание

(Pulling) и смещение (Pushing) частот гетеродинов, используемый в блоке ГУН может работать на частоте вдвое меньше канальной. При этом после ГУН необходимо использование умножителя частоты на два. Такая структура широко используется в РЧ-блоках стандарта DECT и Bluetooth [5, 6].

Примером оригинальной архитектуры РЧ TDD-блока может служить архитектура с общим смесителем (Single-Mixer Transceiver Architecture), показанная на рис. 5. РЧ-блок содержит совмещенные тракты приема и передачи, в которых используется общий реверсивный (двунаправленный) смеситель и общие фильтры РЧ и ПЧ. Для коммутации этих общих узлов, поочередно применяемых для приема и передачи, используются переключатели "прием — передача" (T/R).

Также в [6] описан пример реализации такой архитектуры в 2,4 ГГц по технологии КМОП в РЧ-блоке приемопередатчика, который может использоваться в устройствах Bluetooth или беспроводных локальных сетях LAN. Передатчик включает в себя усилитель мощности с диодной линейризацией и два переключателя "прием-передача" (T/R). В тракте приема используется МШУ с управляемым коэффициентом усиления и коммутируемый пассивный смеситель (Switching Mixer). Диапазон, в котором могут использоваться такие интегральные схемы, — 2,4 — 2,483 ГГц, промежуточная частота равна 280 МГц.

ВХОДНЫЕ РЧ-МОДУЛИ

В большинстве РЧ-блоков АУ используется единственная

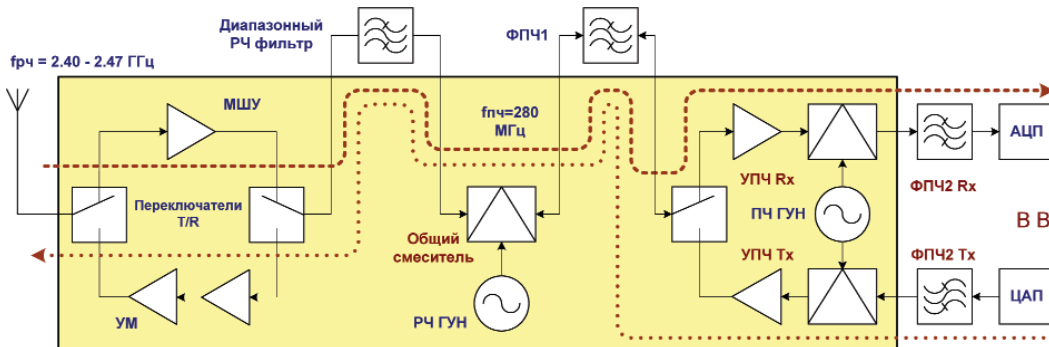


Рис. 5. Архитектура приемопередатчика с общим смесителем

многодиапазонная антенна, работающая совместно с несколькими трактами приема и передачи. Для обозначения входной части РЧ-блока, к которой подключается антенна, в англоязычной литературе широко используется термин RF Front End — входной РЧ-модуль (ВРЧМ). Оптимизация структуры ВРЧМ-блока достигается уменьшением массогабаритных показателей и аппаратурных затрат, улучшением РЧ-параметров: уменьшением вносимых потерь, улучшением развязки трактов приема и передачи.

Разработчики производят интеграцию устройств коммутации антенн и фильтрации сигналов в специальные антенные модули переключения и фильтрации SFM (Switch-Filter Module). Такой подход позволяет сократить количество компонентов, необходимых для изготовления РЧ-блоков, уменьшить размер и вес устройств по сравнению с реализацией блоков на обычной печатной плате.

Сегодня в интегральных вариантах производятся два типа модулей переключения и фильтрации: модули коммутации антенны и входные модули РЧ-тракта. Разница между ними заключается в интеграции устройств фильтрации сигналов, выполняемых, как правило, на основе приборов с эффектом поверхностных акустических волн (ПАВ). Если модуль не содержит элементы полосовой фильтрации, его называют модулем коммутации антенны ASM (Antenna Switch Module). Иногда в состав интегрального входного РЧ-блока включают МЛЧУ тракта приема и выходной усилитель мощности тракта передачи.

Проведенный анализ структур входных РЧ-модулей показывает, что предельно малые потери в трактах приема и хорошая развязка трактов приема и передачи могут быть достигнуты в структурах с несколькими антеннами, особенно при использовании MEMS-ключей (MicroElectro Mechanical Systems). При этом могут быть использованы различные сочетания диапазонов по применяемым антеннам, например ВЧ — НЧ GSM-диапазоны (GSM-900/1800), (GSM-850/1900). По всей видимости, при использовании варианта, в котором сочетаемые диапазоны дальше отстоят по частоте (НЧ — ВЧ), можно улучшить качественные показатели блока за счет селективности антенн. Использование MEMS-ключей представляется наиболее оптимальным решением, позволяющим создать полностью реконфигурируемые многодиапазонные входные РЧ-модули. Технологии производства микроэлектромеханических систем MEMS, позволяющие создавать в интегральных схемах трехмерные механические структуры, рассматриваются как перспективное решение для реализации компонентов ВРЧМ и реконфигурируемых РЧ-блоков в целом. Например, MEMS-ключи, являясь полностью пассивными элементами, вносят минимальные искажения в обрабатываемые сигналы, обладают малыми вносимыми потерями (примерно 0,1 дБ в GSM-диапазонах) и одновременно очень хорошей развязкой, приближаясь по своим свойствам к идеальным элементам. Но для реализации MEMS-ключей надо еще решить много трудных задач, в частности обеспечить необходимое быстродействие, долговечность и возможность коммутации нужного уровня выходной мощности.

Наблюдается еще одна тенденция: компании-производители объединяют в одном модуле усилители мощности, устрой-

ств

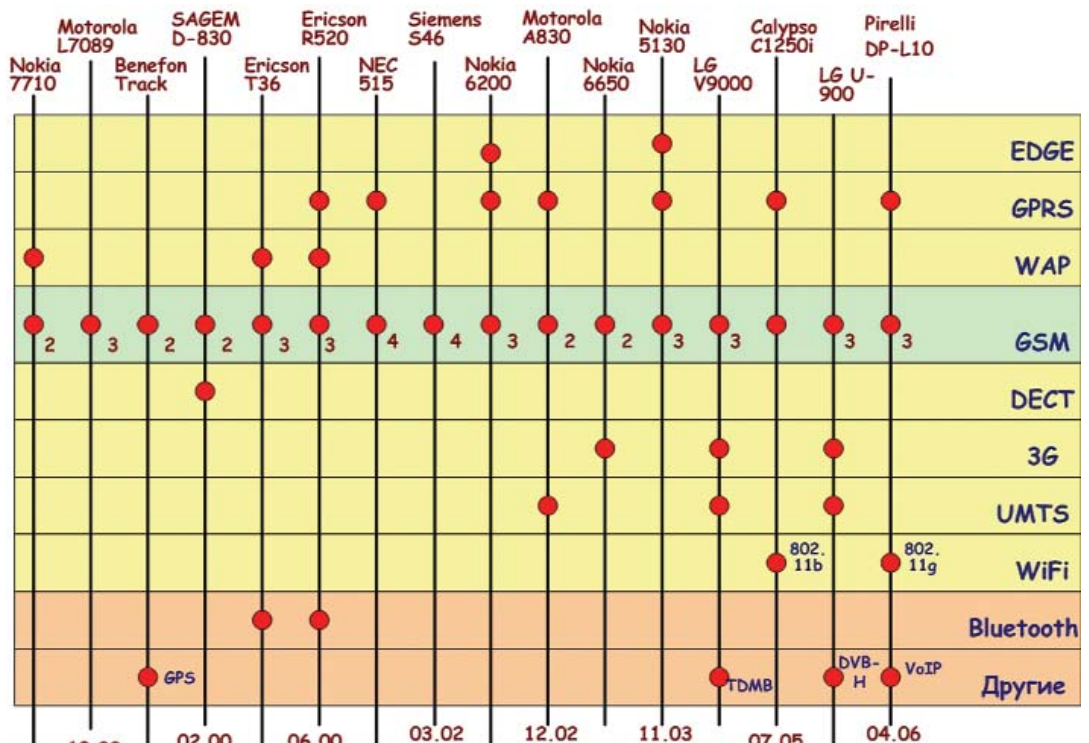


Рис. 6. Этапы развития многодиапазонных и многостандартных РЧ-блоков

ства согласования, выходные фильтры (диплексеры и ФНЧ) тракта передачи и элементы коммутации. Это позволяет существенно улучшить массогабаритные параметры РЧ-блока и уменьшить его стоимость. Такие интегральные компоненты получили название модулей усилителя мощностей PAM (Power Amplifier Modules).

ЭВОЛЮЦИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ ДЛЯ РЧ-БЛОКОВ

Как правило, при возникновении спроса на определенную комбинацию диапазонов и технологий сначала разрабатываются АУ с использованием уже имеющихся подходящих комплектов ИС и только позже появляются специализированные многостандартные и многодиапазонные радиочастотные интегральные схемы (ИС) с этими комбинациями. Причем о выпуске первой в мире модели АУ с впервые введенными диапазонами и технологиями иногда заявляют сразу несколько компаний. Некоторые этапы развития мобильных телефонов отражены на

рис. 6. Цифрами на рисунке указано количество поддерживаемых диапазонов для различных стандартов и технологий.

Как правило, взяв за основу удачную разработку (платформу) РЧ ИС, компании производят поэтапное развитие изделия, расширяя многодиапазонные возможности и вводя дополнительные технологии (GPRS, EDGE, Wi-Fi и др.), т.е. переходя в многомодовый класс. При этом на различных этапах развития ИС происходит серийный выпуск усовершенствованных разработок. Так компания Analog Device развивает платформу Othello, Infineon — Smart, Sereno — Quorum, SiLabs — Aero (рис. 7). Весьма важным показателем при этом является количество внешних компонентов, которые необходимо использовать совместно с ИС. Внутри РЧ-блока находятся несколько высокоинтегрированных интегральных схем компактного размера. Уменьшению размера телефона в целом мешают навесные пассивные компоненты: конденсаторы, резисторы, катушки, переключатели и др.

ПРОГРАММНО ОПРЕДЕЛЯЕМОЕ РАДИООБОРУДОВАНИЕ SDR

Существует несколько концепций построения устройств цифровой обработки сигналов. Определение и трактовка этих концепций зачастую отличаются у различных групп исследователей [8 — 10].

Наиболее известной и обсуждаемой является концепция реализации радиооборудования, названная "Программно определяемое радиооборудование" SDR (Software Defined Radio). Толкование термина "программноопределяемое радиооборудование" в широком смысле и современное понимание концепции можно найти в материалах форума разработчиков SDR (Software Defined Radio Forum) [8]: загружаемое программное обеспечение в SDR-оборудование осуществляет управление различными методами модуляции (широкополосными и узкополосными), реализует скачкообразную перестройку частоты для обеспечения безопасности передачи информации, создает сигналы требуемой формы в широком диапазоне частот в соответствии с современными и будущими стандартами связи, кроме того, программа может управлять переключением антенн.

Институт инженеров по электротехнике и электронике IEEE трактует определение SDR по своему [9]:

— в программно определяемом радиооборудовании радиочастотные параметры функционирования могут быть установлены или изменены при помощи программного обеспечения и/или оборудо-

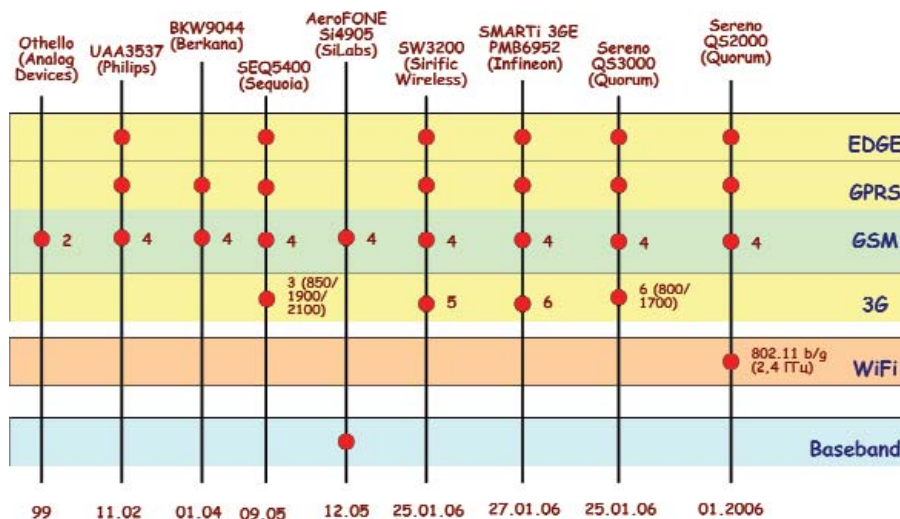


Рис. 7. Этапы развития многодиапазонных и многостандартных ИС

вания, с помощью которого это достигается (это касается диапазонов частот, типа модуляции, выходной мощности, но не ограничивается только данными параметрами);

— концепция SDR применима ко многим технологиям радио и стандартам. В мобильном оборудовании SDR методы применимы и к передатчикам, и к приемникам. Концепция не относится к изменениям параметров режима работы, которые происходят в течение нормального предустановленного (pre-installed) и predetermined) функционирования радиооборудования, соответствующего системным техническим требованиям или стандарту.

Приведем еще одно определение SDR, данное Федеральной комиссией связи FCC (США): радиооборудование, включающее приемопередатчик, в котором такие параметры режима работы, как диапазон частот, тип модуляции и выходная мощность, могут быть изменены при помощи программного обеспечения без любых изменений в аппаратных компонентах, используемых для излучения радиочастот.

Концепция SDR предлагает идеальное решение для поддержки многих стандартов, частотных полос и приложений, позволяющее реализовать базовое пользовательское оборудование, которое затем может быть запрограммировано, настроено или усовершенствовано путем загрузки программного обеспечения, в том числе и "по эфиру" (Over-The-Air Software). Такая концепция выполнения радиооборудования является альтернативой

традиционным многодиапазонным и многомодовым устройствам, в которых для каждого диапазона, стандарта или технологии используются отдельные специализированные компоненты РЧ-блока.

Принятый аналоговый сигнал оцифровывается и затем обрабатывается с использованием цифровых сигнальных процессоров. Преобразование сигнала в цифровую форму может произойти в РЧ, ПЧ или бейсбэнд (информационном) трактах. В тракте передачи модулированный сигнал генерируется в цифровой форме, а его преобразование в аналоговую для последующей передачи может производиться в ПЧ или РЧ-трактах.

В идеальном случае радиооборудование SDR не должно иметь аналоговых функциональных узлов за исключением маломощного усилителя МШУ тракта приема и усилителя мощности тракта передачи (рис. 8). В приемопередатчиках SDR аналоговый сигнал должен преобразовываться в цифровой на выходе антеннофидерной системы и проходить далее обработку только в цифровой форме. На современном же этапе развития технологий для реализации входной части приемника используются отдельные аппаратные устройства для каждого диапазона, а программно определяемая обработка сигналов производится только на частотах ПЧ.

РЕКОНФИГУРИРУЕМОЕ РАДИООБОРУДОВАНИЕ

Существует другая концепция реализации радиооборудования мобильной связи, вызывающая

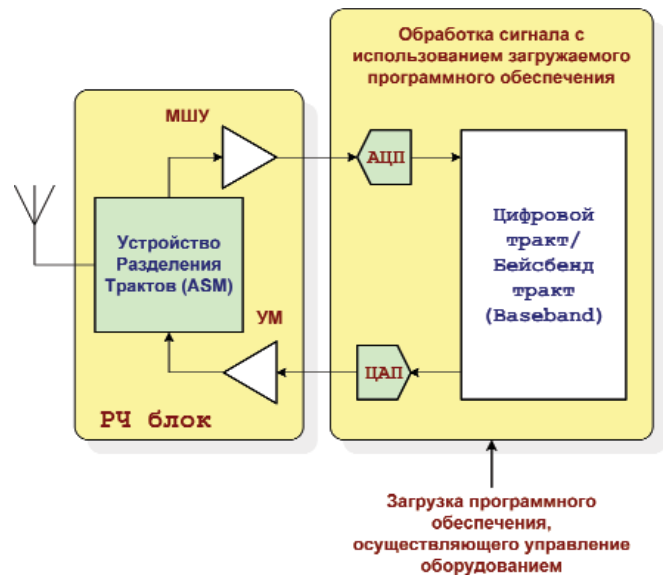
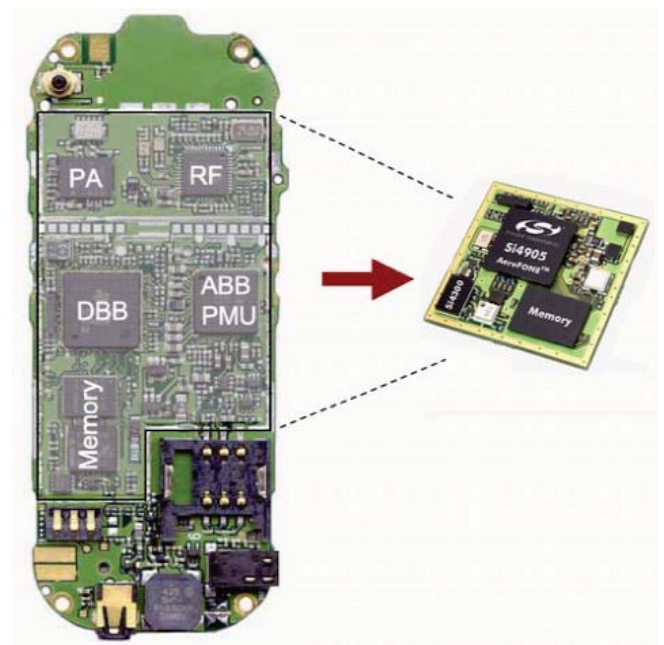


Рис. 8. Обобщенная структура SDR-радиооборудования

интерес, — реконфигурируемое радиооборудование RCR (Reconfigurable Radio) [9, 10]. IEEE дает такое определение RCR: "Реконфигурируемое радиооборудование — это оборудование, функциональные возможности аппаратных средств (Hardware Functionality) которого могут быть изменены путем программного управления". Управление реконфигурацией такого оборудования может затрагивать любой его элемент.



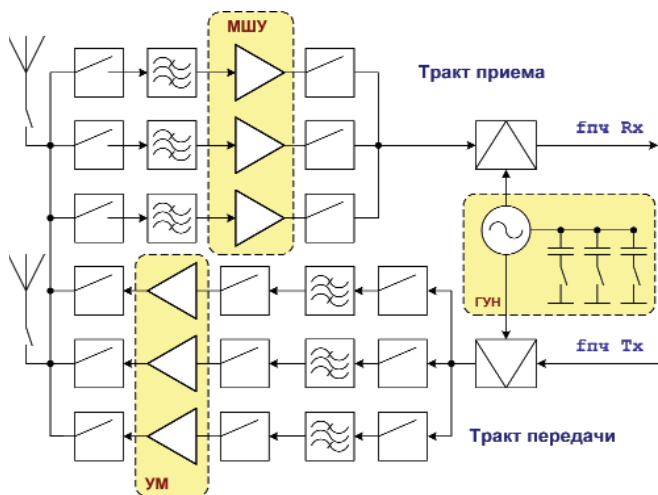


Рис. 9. Возможная обобщенная структура технической реализации концепции реконфигурируемого входного многомодового РЧ-блока

Данное определение является общим и позволяет достаточно широко его интерпретировать, так как, например, четко не определено, что подразумевается под "функциональными возможностями аппаратных средств". Целесообразно, видимо, говорить в этом случае о большей, чем в SDR, аппаратно реализуемой про-

граммируемости реконфигурируемого радио. И если девизом SDR может стать "Все оцифровать!", то для RCR актуально "Все перекоммутировать!"

На рис. 9 показана обобщенная структура реконфигурируемого входного РЧ-блока для многомодовой работы. Приемопередатчик ИС реализует общий передающий тракт для всех поддерживаемых режимов. Так как требования к УМ совершенно индивидуальны для разных режимов, каждый режим требует наличия своего собственного УМ-тракта передачи. Это также касается и малошумящих усилителей на входе тракта приема. Выбор комбинации необходимых функциональных узлов в трактах приема, передачи и синтеза частот должен быть сделан соответствующими переключателями РЧ-блока, в качестве которых наиболее целесообразно применять MEMS-элементы [11].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Leo P. Ivrissimtzis.** The Evolution of the GSM Radio Subsystem. May 2004. Agere Systems Inc.
2. **GSM 05.05.** European Standard (Telecommunications series). Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Radio transmission and reception.
3. **3GPP TS 25.101 V7.4.0 (2006-06).** 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; User Equipment (UE) radio transmission and reception (FDD).
4. **M. Groezing, B. Philipp, M. Berroth.** CMOS Ring Oscillator with Quadrature Outputs and 100 MHz to 3.5 GHz Tuning Range. 29th European Solid-State Circuits Conference 2003 (ESSCIRC 2003), Estoril, Portugal, Sept. 16-18, 2003.
5. **Дингес С.И.** Мобильная связь. Технология DECT. — М.: Солон-Пресс, 2003. — 272 с.
6. www.rfdesign.ru
7. **Cheng-Chi Yen and Huey-Ru Chuang,** National Cheng Kung University Tainan, Taiwan, ROC. 2.4 GHz, 0.25 mm CMOS Transmitter and Receiver RFICs for Wireless Communications. Microwave Journal, vol. 48, № 2, Feb. 2005.
8. <http://www.sdrforum.org>
9. <http://grouper.ieee.org/groups>
10. <http://www.mumor.org>
11. **Mark Chapman.** The Impact of MEMS on Cellular Phone Architectures. Microwave Journal, vol. 49, № 5, May 2006, p. 256-260.



Calypso C1250i
с поддержкой Wi-Fi

