



Многостандартная связь: проблемы и решения

В. И. Слюсарь, г. Киев

Вынашивая то или иное техническое новшество в области связи, разработчик питает надежду на утверждение его подхода в качестве очередного стандарта. Зачастую исход этой борьбы предопределяется не истинной ценностью и функциональностью нововведения, а возможностями его массового изготовления и, в конечном счете, толщиной кошелька фирм-производителей. Следствием такого положения дел стало, в частности, обилие конкурирующих стандартов обработки сигналов и протоколов обмена в системах мобильной связи. С одной стороны, данный факт можно воспринимать как благо, поскольку у потребителей появился богатый выбор. Однако необходимость учета интересов пользователей различных концепций телекоммуникационных услуг в конечном счете приводит к неоправданному распылению средств, удорожанию инфраструктуры и создает неблагоприятные условия для дальнейшего развития средств связи. Такого рода положение дел не могло не привести к поиску принципиально новых концепций построения систем связи, изначально ориентированных на функциональную и архитектурную многостандартность.

Выход был найден в сочетании технологий программно-реконфигурируемых радиомодулей (Software Radio, SR) и адаптивного цифрового диаграммообразования (ЦДО) на базе цифровых

антенных решеток (ЦАП). В [1 и 2] автор уже публиковал материалы, раскрывающие основную идею ЦДО применительно к узкополосным проектам мобильной связи RDRN (Канзасский университет) и TSUNAMI-II (консорциум европейских фирм во главе с британской компанией ERA Technology). Многостандартный подход нуждается в широкополосной архитектуре ЦАП, требующей пересмотра традиционных представлений о принципах реализации приемно-передающих модулей.

Рассмотрим ключевые моменты новых подходов на примере наиболее характерных зарубежных проектов перспективных широкополосных систем связи. Среди них наибольшей степенью проработки на сегодняшний день выделяется проект SUNBEAM [3], подробная информация об особенностях которого представлена на сайте www.sunbeam-project.org. Проект SUNBEAM (Smart UNiversal BEAM-forming) ориентирован на поддержку широкополосного стандарта UMTS (Universale Mobile Telephone Service), имеющего полосу частот до 5 МГц. При этом планируется также изучить возможность адаптации соответствующих технических решений под полосу 10 МГц для новой японской версии мобильной связи третьего поколения.

В основу схмотехнического замысла SUNBEAM положена простая по сути концепция программно-реконфигурируемых радиомодулей, представляющих собой совокупность процессора цифровой обработки сигналов (DSP), аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразователей (АЦП и ЦАП), подключенных через коммутатор к общей ан-

тенне (рис. 1). При этом для обеспечения требуемого качества излучаемых сигналов по выходу ЦАП используют линейный усилитель мощности.

Такое построение приемно-передающих каналов ЦАП позволяет избежать аппаратной зависимости процедур обработки сигналов и упрощает их адаптацию под нужды того или иного стандарта связи. Интеграция же возможностей ЦДО и Software Radio впервые создает реальную перспективу обеспечения одновременной работы множества пользователей в различных стандартах связи в одном луче диаграммы направленности антенных систем базовых станций.

В числе основных технических требований, которым должна удовлетворять типовая базовая станция связи, разработчики SUNBEAM отмечают следующие [3]: диапазон рабочих частот – от 100 МГц до 2,2 ГГц (перекрываются несущие PMR, сотовой, мобильной, спутниковой связи и UMTS); излучаемая мощность 25 Вт (независимо от частоты несущей); линейный динамический диапазон приемника не менее 120 дБ; развязка соседних каналов по мощности до -75 дБ; подавление помех по зеркальному каналу приема более 60 дБ.

Приведенный перечень требований можно расширить, рассмотрев технические нюансы реализации входящих в состав SR-модулей элементов. В частности, особенностью SUNBEAM является ориентация на приемно-передающую антенную решетку, образованную несколькими вертикальными массивами излучателей. При этом ЦДО предусмотрено только в азимутальной (горизонтальной) плоскости, хотя в дальнейшем для повышения устойчивости связи в условиях переотражений от подстилающей поверхности имело бы смысл применить ЦДО и по углу места.

Необходимость поддержки множества стандартов обуславливает достаточно жесткое для антенны требование обеспечения пятиоктавной полосы пропускания с минимальными потерями коэффициента усиления во всем указанном диапазоне. Независимо от несущей аналоговый фильтр на входе АЦП призван ослабить сигналы за пределами полосы 15 МГц до уровня ниже -60 дБ. Общая неидентичность характеристик приемных каналов (среднеквадратическое отклонение) должна быть не хуже 0,3 дБ по коэффициенту усиления и 3° по фазе. Следует отметить, что реализация подобного полосового фильтра с возможностью настройки в диапазоне от 100 МГц до 2,2 ГГц является пока трудноразрешимой пробле-

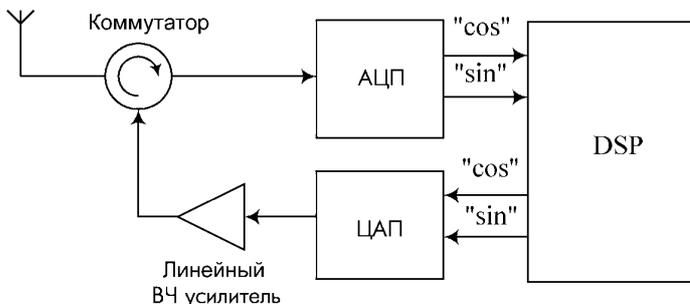


рис. 1

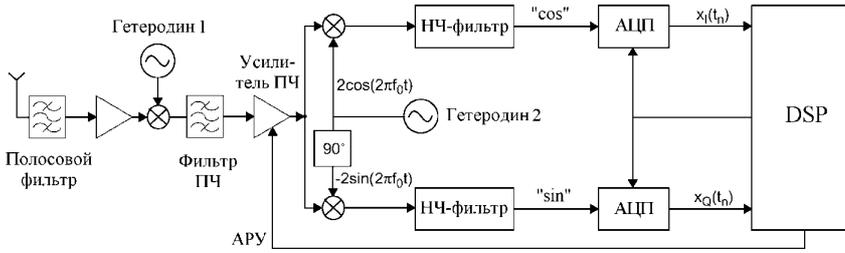


рис. 2

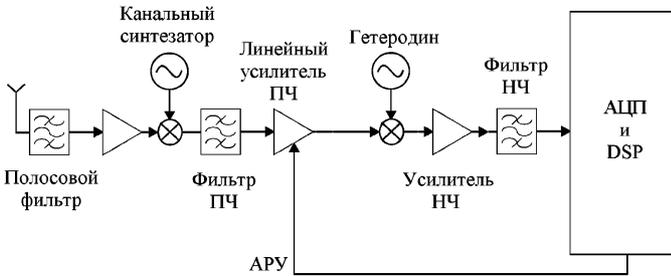


рис. 3

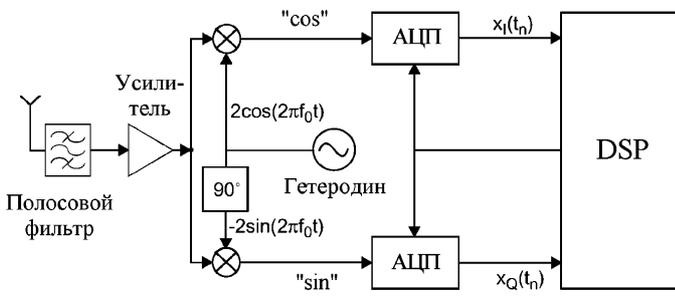


рис. 4

мой. Поэтому единственной альтернативой в обозримом будущем остается использование в структуре рис.1 преобразования частоты с понижением частоты несущей.

Частоту дискретизации АЦП выбирают исходя из известного требования четырехкратного превышения ширины спектральной полосы обрабатываемых сигналов. В рассматриваемом случае ее значение задано не ниже 20 МГц при несущей частоте входного сигнала до 2,2 ГГц. Для обеспечения высокого динамического диапазона и, следовательно, качества связи в условиях помех, разрядность АЦП должна составлять не менее 20 бит. В наибольшей степени к такого рода показателям приблизились 14-битовые АЦП корпорации Burr-Brown, рассчитанные на полосу аналогового сигнала до 1 ГГц. Появление же в коммерческой серии 20-битовых АЦП требуемого быстродействия зависит от успеха научно-исследовательских разработок, которые пока ведутся в интересах военных ведомств стран НАТО. Аналогично обстоят дела и в отношении ЦАП. Поэтому в проекте SUNBEAM принято

компромиссное решение – использовать доступные 14-битовые ЦАП при тактовой частоте цифрового сигнала 20 МГц с последующим повышением частоты несущей и усилением мощности сигналов.

Большинство из технических требований, выработанных в ходе реализации теоретической части проекта SUNBEAM, призвано служить ориентацией на перспективу. Полученные же схемотехнические наработки в основном нацелены на исследование возможностей смягчения выдвинутых требований к характеристикам оборудования базовых станций и поиск рациональных технических решений в интересах скорейшего внедрения SR-технологии и ЦДО в ближайшем будущем. Поэтому остановимся на их анализе подробнее.

Применительно к однополосной системе связи упрощенная архитектура цифрового приемного модуля ЦАР, согласно материалам проекта SUNBEAM [3], может иметь вид, показанный на рис.2. В отличие от передающих средств, для которых требование линейности является достаточно новым, разработка приемников с высоколиней-

ной передаточной характеристикой традиционно фигурировала во всех последних стандартах систем связи. Поэтому переход от традиционного приемника к приемному каналу версии SUNBEAM осуществляется в основном путем внесения изменений в операции детектирования сигналов и каскады АРУ.

Что же касается задач, решаемых цифровым сигнальным процессором (DSP), то примером таковых для схемы рис.2 может быть цифровая демодуляция сигналов, быстрая АРУ методами упреждения, компандирование голосовых сообщений, коррекция ошибок в данных. Перечень этих функций можно расширить в альтернативной схеме цифрового приемника (рис.3). Здесь DSP дополнительно проводит “расквadrатурирование” сигналов без паразитного постоянного смещения. Кроме того, он же выполняет частотную коррекцию, необходимую для компенсации последствий ухода частоты гетеродина.

Потенциально более притягательной для сравнительно узкополосных приложений с ЦДО является архитектура приемника прямого преобразования (рис.4). Такая схема достаточно проста (требуется лишь один сигнал гетеродина, исключен фильтр промежуточной частоты) и, следовательно, потенциально очень дешева. Использование цифровой фильтрации напряжений квадратурных составляющих сигналов в DSP позволяет осуществлять более точную по сравнению с аналоговыми прототипами селекцию каналов связи. Однако реализация архитектуры рис.4 сопряжена с необходимостью устранения ряда специфичных проблем, что в значительной степени объясняет ее ограниченное использование. В частности, речь идет о прецизионном широкополосном “расквadrатурировании” сигналов, а также незначительной развязке между гетеродином и антенной, приводящей к заметному излучению в эфир колебаний гетеродина.

(Окончание следует)

Литература

1. Слюсар В.И. Цифровое диаграммообразование – базовая технология перспективных систем связи// Радиоаматор. – 1999. – №8. – С. 58–59.
2. <http://www.era.co.uk/tsunami/>.
3. Peter Kenington, Philip Brown. SUNBEAM. RF Architectures and Components for Software Radio Adaptive Antenna Base-Station. – WSIL. Doc. AC347/WSI/A62/DS/P/008/b1. – 14 Dec.1998// <http://www.project-sunbeam.org>.



Многостандартная связь: проблемы и решения

В. И. Слюсарь, г. Киев

(Окончание. Начало см. в РА 7/2001)

Переход к многостандартной широкополосной связи еще более усугубляет проблемы реализации приемника SR-архитектуры. Например, существенно увеличиваются требования к динамическому диапазону и частоте дискретизации АЦП, предварительная фильтрация радиосигналов становится затруднительной или даже невозможной, поскольку фильтр должен быть настроен на все диапазоны частот, представляющие интерес. Впрочем, в качестве альтернативного решения можно использовать набор коммутируемых фильтров, хотя такой путь и сопровождается чрезмерным ростом массогабаритных показателей SR-модулей.

Исследуемый в рамках проекта SUNBEAM подход к решению отмеченных проблем проиллюстрирован на **рис.5**. Главным отличием данного приемника от схем **рис. 2-4** является отсутствие преселекторного фильтра. Поскольку подавление помех по зеркальному каналу, возлагавшееся ранее на преселектор, исключается, задача их режекции должна решаться в смесителях антенной решетки. Кроме того, учитывая, что отсутствие преселектора приводит к попаданию на вход малошумящего усилителя (МШУ) и смесителя практически всех сигналов, действующих на входе антенны, указанные МШУ и смеситель должны иметь достаточно высокий линейный динамический диапазон, позволяющий избежать перегрузки приемного тракта и сопутствующих искажений полезных сигналов помехами, например, от соседних антенн на общей мачте антенной решетки.

Другим отличием многостандартного приемника (**рис.5**) является использование перестраиваемых по частоте фильтров перед АЦП. Помимо своих непосредственных функций такие фильтры могут осуществлять выбор каналов связи, подавлять просачивающиеся в приемник сигналы передатчика и, следовательно, значительно уменьшать требуемый динамический диапазон (разрядность) АЦП.

Перейдем к рассмотрению возможных вариантов построения передающих сегментов широкополосной ЦАР. В соответствии с концепцией программно-реконфигурируемых радиомодулей, передатчик, выполненный по технологии Software Radio, должен осуществлять передачу сигналов с любым типом модуляции. Это вполне выполнимо, если формирование

подлежащего излучению в эфир модулированного сигнала осуществляется в комплексном виде, по квадратурным составляющим. Соблюдение данного условия, по мнению авторов SUNBEAM, позволяет рассматривать следующие варианты архитектуры передатчика: 1) схема с линейным усилителем мощности (**рис.6,а**); 2) схема с линеаризованной характеристикой (**рис. 6,б**).

В первом случае используется преобразование с повышением частоты и усиление мощности выходного сигнала непо-

средственно на несущей. Обе операции должны быть предельно линейными, поэтому на практике сигналы перед подачей на вход передатчика такого класса подвергаются неадаптивному предварительному искажению в полосе модулирующих частот.

Второй вариант передатчика по сути является системой с корректируемой обратной связью. Он рассчитан на формирование линейного выходного сигнала из комбинации нелинейных компонент большой мощности. Во многих практических

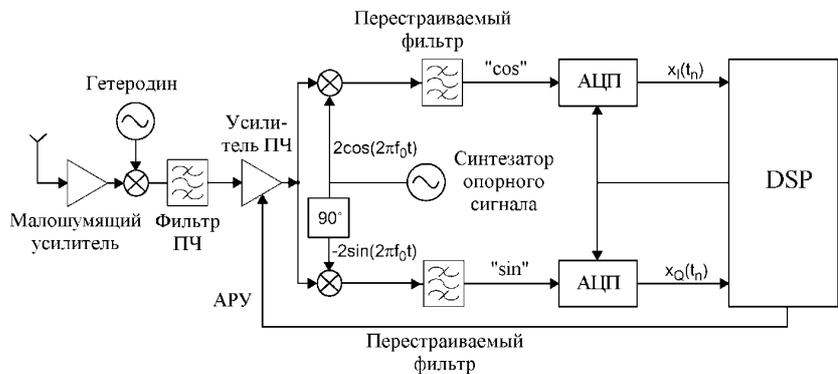
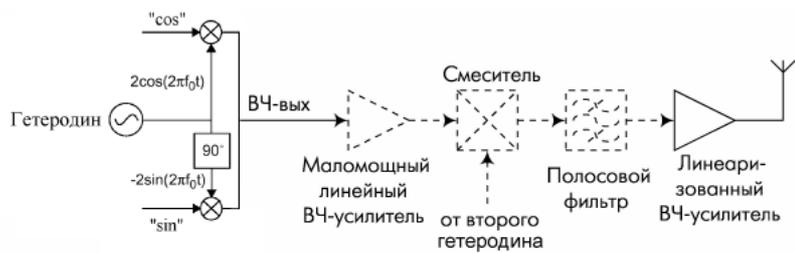
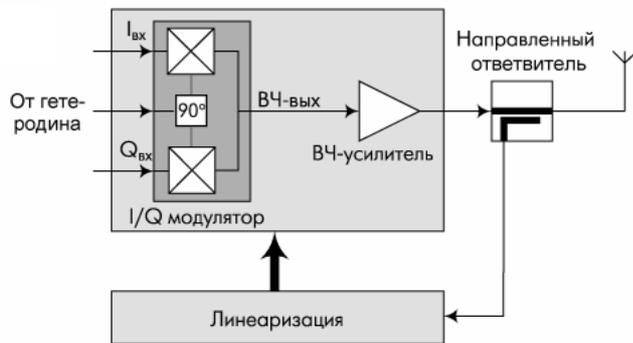


рис. 5



а



б

рис. 6

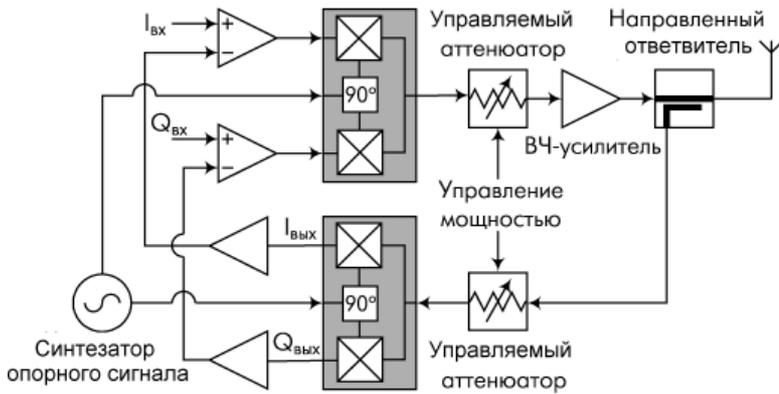


рис. 7

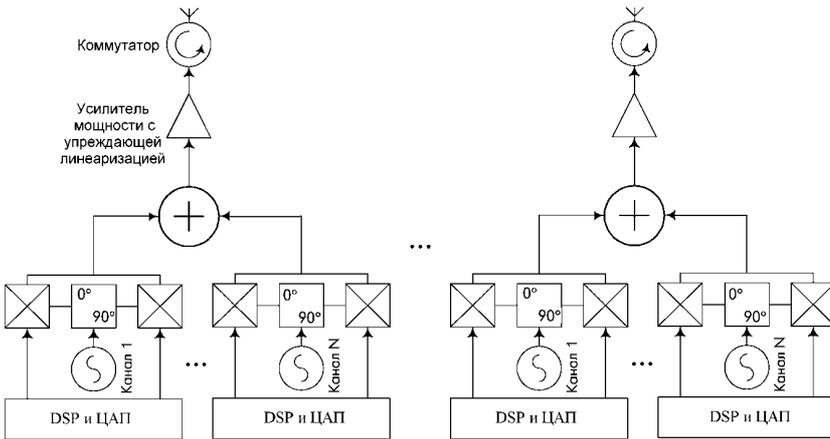


рис. 8

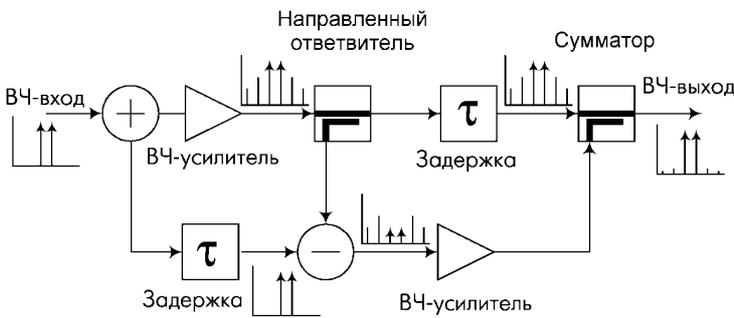


рис. 9

приложениях такой подход до настоящего времени осуществлялся на основе линейризирующей петли. Типовая блок-схема передатчика, иллюстрирующая такой метод, изображена на рис.7. Отличительной ее особенностью является обеспечение обратной связи в квадратурных составляющих. Преимущество архитектуры такого типа состоит в возможности линейризации мощных нелинейных усилителей классов С и АВ. Достижимая глубина подавления нелинейных компонент ограничивается при этом в основном непредсказуемым рассеиванием мощности сигнала несущей. Согласно [3], практические результаты тестирования передатчиков с линейризирующей петлей в системах DAMPS подтвердили возможность подавления нелинейных гармоник до уровня ни-

же -30 дБ. Следует отметить, что использование представленных на рис. 6, 7 архитектур передатчиков в базовых станциях широкополосной связи с ЦДО сопряжено с рядом ограничений, касающихся, главным образом, достижимого линейного динамического диапазона каналов в широкой полосе, которые сужают возможность использования подобных структур. Учитывая, что в базовой станции SR-класса частоты каналов, форматы модуляции и ширина частотного диапазона должны быть динамически перестраиваемыми, в качестве предпочтительного решения при выборе передающей системы участники SUNBEAM рассматривают архитектуру, показанную на рис.8. Все ее элементы, кроме усилителя мощности (УМ), легко

выполнимы на стандартной элементной базе. Для реализации же УМ рекомендуется использовать метод упреждающей линейризации, принцип которого поясняет рис.9. Созданный в рамках проекта TSUNAMI компанией Wireless Systems (Великобритания) УМ такой структуры позволил добиться глубины подавления нелинейных компонент на частоте 1,8 ГГц более 75 дБ.

Наряду с одночастотным подходом при разработке многостандартных систем рассматривается и многочастотный принцип построения передающего сегмента адаптивной ЦАР. Дело в том, что именно многочастотный вариант позволяет достичь подлинной многостандартности и широкополосности систем связи. Реализация многочастотной архитектуры предполагает тесную интеграцию передающего передатчика с калибровочной системой, аналогичной используемой для достижения идентичности характеристик приемников. При этом выдвигается требование независимой калибровки передатчиков в каждом из используемых частотных диапазонов с целью достижения заданных пределов ошибки установления коэффициентов усиления в передающих каналах ЦАР (например, не более 0,3 дБ по мощности и фазовой погрешности менее 3° во всей рабочей полосе частот). Такие показатели достигаются все тем же методом линейризации с упреждением (рис.9), подтверждением чему могут служить испытания упомянутого выше УМ, проведенные компанией Wireless Systems. Столь жесткие требования к УМ создают условия для гарантированной поддержки посредством калибрующей системы заданного уровня выходной мощности сигналов в изменяющихся режимах эксплуатации базовой станции с ЦАР.

Рассмотренные технические аспекты создания многостандартных систем телекоммуникаций не исчерпывают всего круга связанных с этим проблем, в том числе теоретического и технологического плана. Отдельного внимания заслуживают вопросы совершенствования алгоритмов обработки сигналов, создания одночипных приемно-передающих модулей по принципу "System-On-Chip". Учитывая интенсивный характер поисковых работ в этих направлениях можно предположить, что появление в пробной эксплуатации первых мультистандартных систем с ЦДО станет возможным в ближайшие 10-15 лет.

Литература

1. Слюсарь В.И. Цифровое диаграммообразование - базовая технология перспективных систем связи// Радиоаматор.- 1999.- № 8.- С. 58-59.
2. <http://www.era.co.uk/tsunami/>.
3. Peter Kenington, Philip Brown. SUN-BEAM. RF Architectures and Components for Software Radio Adaptive Antenna Base-Stations.- WSIL. Doc. AC347/WSI/A62/DS/P/008/b1.- 14 Dec.1998// <http://www.project-sunbeam.org>.