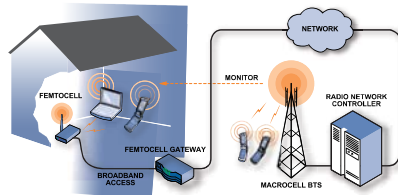


КОМПОНЕНТЫ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ УСТРОЙСТВ СВЯЗИ, часть 2

В статье рассматриваются пути построения беспроводных устройств связи и компоненты для их реализации. Во второй части статьи дан обзор модуляторов, выпускаемых компанией Analog Devices.

**В. Макаренко,
А. Василенко**



COMPONENTS FOR CONSTRUCTION OF WIRELESS COMMUNICATION DEVICES, part 2

Abstract - In article ways of construction of wireless communication devices and components for their implementation are observed. In the second part survey of modulators which are released by company Analog Devices is resulted.

V. Makarenko, A. Vasilenko

В первой части статьи [1] были рассмотрены основные функциональные схемы приемопередатчиков и характеристики высокочастотных маломощных усилителей, выпускаемых компанией Analog Devices. Во второй части рассмотрим основные характеристики модуляторов, без которых не обходится практически ни один приемопередатчик.

Компания Analog Devices выпускает много модификаций модуляторов и демодуляторов, которые позволяют создавать устройства для систем проводной и беспроводной связи, беспроводные системы сбора данных, базовые станции для систем мобильной связи 2G и 3G и многое другое.

В табл. 1 [2] приведены основные технические характеристики модуляторов и демодуляторов, выпускаемых компанией Analog Devices.

Модуляторы можно разделить на две группы: обычные и векторные. Рассмотрим векторные модуляторы AD8340 и AD8341 [3, 4], выполненные по одинаковым схемам и отличающиеся по параметрам.

Модуляторы AD8340/41 обеспечивают:*

- амплитудную и фазовую модуляцию в диапазоне частот 0.7...1 ГГц (1.5...2.4 ГГц)
- регулировку амплитуды выходного сигнала в диапазоне -2...-32 (-4.5...-34.5) дБ
- регулировку фазового сдвига в диапазоне 0...360°

- уровень интермодуляционных искажений третьего порядка -24 (-17.5) дБм
- выходной уровень в точке сжатия динамического диапазона на 1 дБ не менее 11 (8.5) дБм
- спектральную плотность шума -149 (-150.5) дБм/Гц при максимальном коэффициенте усиления
- полосу модулирующих сигналов 0...230 МГц
- быстрое отключение выходного сигнала.

Диапазон напряжения питания обеих ИМС 4.75...5.25 В.

Модуляторы предназначены для амплитудной и фазовой модуляции, регулировки усиления и фазового сдвига, усиления мощности в системах CDMA2000, GSM/EDGE и регулировки фазы и амплитуды радиосигналов.

Функциональная схема модуляторов AD8340/AD8341 приведена на рис. 1. Между дифференциальными входами ВЧ-сигнала

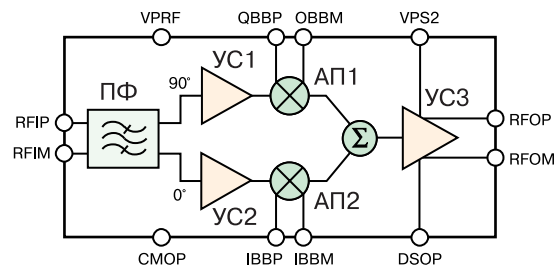


Рис. 1. Функциональная схема модуляторов AD8340/AD8341

* В скобках приведены значения для ИМС AD8341.

Табл. 1. Основные характеристики модуляторов/демодуляторов компании Analog Devices

Тип ИМС	Функциональное назначение	Диапазон частот на выходе, МГц	Диапазон частот IQ *, МГц	Фазовая погрешность, град.	Амплитудная погрешность, дБ	Уровень собственных шумов, дБм/Гц	Напряжение питания, В	Ток потребления, мА
AD8333	демод.	0...50	–	0.1	0.05	-161	±5	44
AD8339	демод.	0...50	50	1	0.25	–	4.5...5.5	35
AD8340	векторн. мод.	700...1000	–	–	–	–	5	130
AD8341	векторн. модул.	1500...2400	–	–	–	-150.5	4.75...5.25	125
AD8345	модул.	140...1000	80	0.5	0.2	-155	2.7...5.5	65
AD8346	модул.	800...2500	70	1	0.2	-147	2.7...5.5	45
AD8349	модул.	700...2700	160	0.3	0.1	-156	5	135
ADL5370	модул.	250...1300	700	–	–	-156	4.75...5.5	210
ADL5371	модул.	700...1300	700	–	–	-156	4.75...5.5	175
ADL5372	модул.	1500...2500	700	–	–	-158	4.75...5.5	175
ADL5373	модул.	2300...3000	700	–	–	-156	4.75...5.5	175
ADL5374	модул.	2800...4000	700	–	–	-155	4.75...5.5	175
ADL5375	модул.	400...6000	500	–	–	-161	4.75...5.25	190
ADL5385	модул.	50...2200	500	0.33	0.03	-160	4.75...5.5	215
ADL5386	модул.	50...2200	–	–	–	-160	4.75...5.5	–
ADL5390	векторн. модул.	20...2400	230	–	–	-147	5	130
ADL5590	модул.	869...960	–	–	–	-157	4.75...5.25	170
ADL5591	модул.	1805...1990	–	–	–	-157	4.75...5.25	170

* IQ – I- и Q-составляющие модулированного сигнала.

RFIP и RFIM и входами первого и второго аналоговых перемножителей (АП) включены полосовой фильтр, формирующий два квадратурных сигнала, и усилители УС1 и УС2. На дифференциальные входы аналоговых перемножителей (АП1 и АП2) подаются I- и Q-составляющие модулирующего сигнала (выводы IBVP, IBVM и QBVP, QBVM).

Сигналы, формируемые на выходах перемножителей, суммируются в сумматоре Σ и через выходной усилитель УС3 поступают на дифференциальные выходы RFOP, RFOM. Сигнал отключения выхода (+5 В) подается на вывод DSOP.

Такое построение схемы позволяет не только формировать модулированные сигналы, но и использовать схему для регулировки коэффициента усиления и фазы ВЧ-сигнала. Это хорошо иллюстрирует векторная диаграмма (рис. 2). На диаграмме по осям V_q и V_i расположены составляющие ВЧ-сигнала, прошедшего через перемножители АП1 и АП2, коэффициент передачи которых определяется составляющими I и Q сигналов VBVI и VBBQ на входах управления IBV и QBV этих перемножителей. Максимальный коэффициент пере-

дачи перемножителя равен 1 (0 дБ) и теоретически такая схема позволяет обеспечить минимальный коэффициент передачи, равный 0. В случае, когда на выходах АП1 и АП2 формируются противофазные сигналы с равными амплитудами, напряжение на выходе сумматора должно быть равно нулю. Но из-за разброса параметров элементов на практике максимальное затухание, вносимое схемой, составляет примерно 40 дБ.

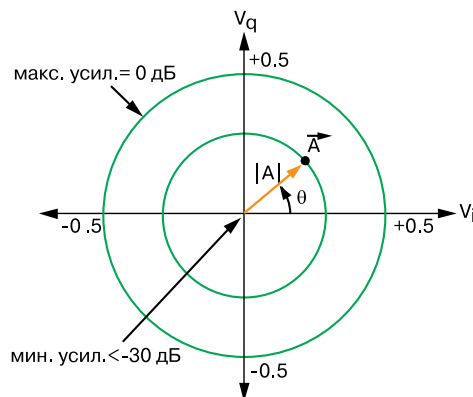


Рис. 2. Векторная диаграмма сигнала на выходе модуляторов AD8340/AD8341

Выражение для коэффициента усиления *Gain* и фазового сдвига *Phase* [3] может быть записано в следующем виде:

$$Gain = \sqrt{(V_{BBI} / V_0)^2 + (V_{BBQ} / V_0)^2},$$

$$Phase = \arctan(V_{BBQ} / V_{BBI}),$$

где V_{BBI} и V_{BBQ} – напряжения на входах управления перемножителей (номинальное значение не более ±0.5 В), V_0 – постоянная величина, определяемая параметрами схемы и равная 0.5 В.

Изменяя соотношение между напряжениями на входах управления перемножителей, можно вращать вектор коэффициента усиления. Такие возможности и определили название этих модуляторов – векторные. Различные примеры применения модуляторов и схемы их включения приведены в [3, 4].

Еще одним представителем семейства векторных модуляторов является ИМС ADL5390, функциональная схема которой приведена на рис. 3 [5]. Как видно из схемы, отличия от AD8340/AD8341 заключаются только в отсутствии входного фильтра со встроенным фазовращателем.

Основные параметры ADL5390:

- диапазон рабочих частот от 20 МГц до 2.4 ГГц
- коэффициент передачи 5...-30 дБ
- уровень интермодуляционных искажений третьего порядка -24 дБм
- спектральная плотность шума -148 дБм/Гц
- выходной уровень в точке сжатия динамического диапазона на 1 дБ не менее 11 дБм
- полоса модулирующих сигналов 0...230 МГц.

Во всех векторных модуляторах наблюдается зависимость спектральной плотности шума от коэффициента усиления и частоты входного высокочастотного сигнала. На рис. 4 приведе-

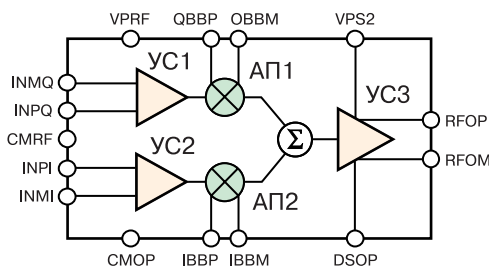


Рис. 3. Функциональная схема модулятора ADL5390

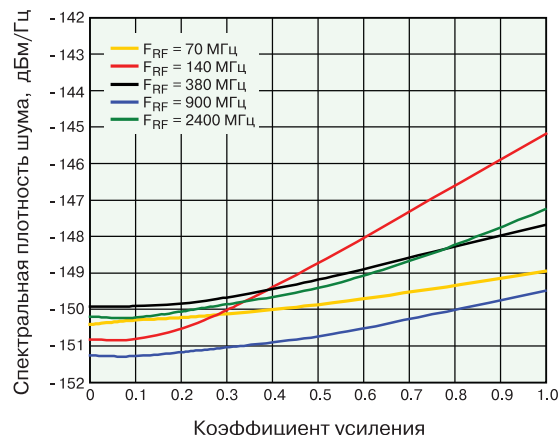


Рис. 4. Зависимость спектральной плотности шума модулятора ADL5390 от коэффициента усиления при разных частотах входного сигнала

ны зависимости спектральной плотности шума от частоты входного сигнала (F_{RF}) для ИМС ADL5390, из которых следует, что спектральная плотность меняется незначительно и ее значение не превышает -145 дБм/Гц.

Кроме векторных модуляторов компания Analog Devices выпускает большое число квадратурных модуляторов, построенных по схеме, приведенной на рис. 5 [2]. Модуляторы содержат два аналоговых перемножителя АП1 и АП2, расщепитель фазы, формирующий квадратурные сигналы, подаваемые на входы управления перемножителей, и сумматор. Входы всех узлов и выход сумматора соединяются с внешними цепями с помощью согласующих усилителей УС1...УС4 с дифференциальными входами и выходами.

Как следует из табл. 1, квадратурные модуляторы (в таблице обозначены как "модул.") отличаются диапазонами рабочих и модулирующих частот и уровнем шумов. Остальные па-

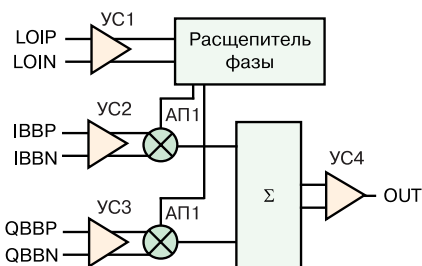


Рис. 5. Функциональная схема квадратурных модуляторов AD8345...AD8349/ADL5370...ADL5374

раметры квадратурных модуляторов различаются незначительно.

Анализ характеристик модуляторов AD8345...AD8349 показывает, что наиболее широкополосным является модулятор AD8349, имеющий диапазон рабочих частот 700...2700 МГц и обеспечивающий модуляцию сигналами с верхней частотой до 160 МГц. Он также обладает и наименьшим уровнем собственных шумов, не превышающим -156 дБм/Гц.

Основные области применения квадратурных модуляторов – это устройства для систем связи WCDMA/CDMA/WCDMA/CDMA2000/PCS/GSM/EDGE/ISM, в которых используется QPSK/GMSK/QAM-модуляция.

Такие модуляторы могут быть использованы не только для формирования сигналов с нужным законом модуляции, но и для формирования выходных сигналов маломощных передатчиков без использования дополнительных усилителей мощности. На рис. 6 [6] для примера приведены зависимости максимальной выходной мощности в линейном режиме работы модулятора AD8349 от частоты входного сигнала (несущего колебания) при различных напряжениях питания и температуре окружающей среды 25 °С.

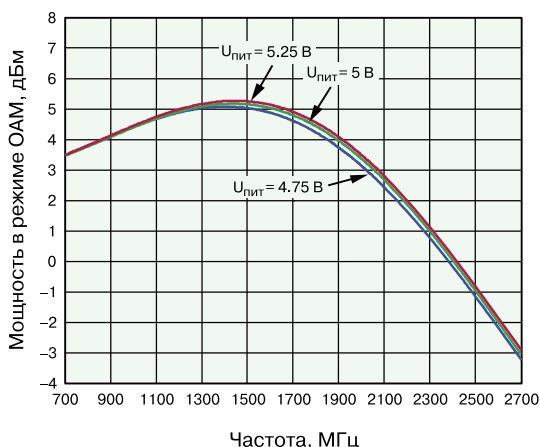


Рис. 6. Зависимости максимальной выходной мощности от частоты несущего колебания при работе модулятора AD8349 в линейном режиме

При повышении температуры максимальная выходная мощность падает, что необходимо учитывать при использовании модулятора для формирования сигнала в антенне передатчика.

Более высокочастотные модуляторы ADL5370...ADL5375 обеспечивают работу в диапазоне рабочих частот 0.25...6 ГГц (табл. 1). Все они построены по функциональной схеме, приведенной на рис. 5. Только в ADL5375 [7] дополнительно введен аналоговый ключ, который позволяет отключать выход модулятора от внешних цепей (рис. 7).

Рассмотрим некоторые особенности модулятора ADL5375, который выпускается в двух модификациях: ADL5375-05 (с максимальным напряжением на входах IBV и QBV 500 мВ) и ADL5375-15 (с максимальным напряжением 1.5 В). Рис. 8 иллюстрирует зависимость ряда параметров модулятора от уровня входного сигнала при частоте несущего колебания 2.1 ГГц. Максимальная выходная мощность при температуре 25 °С составляет 11 дБм на частоте 3.5 ГГц, и 7 дБм – на частоте 6 ГГц [7].

Подробно с характеристиками квадратурных модуляторов, схемами их включения и рекомендациями по применению можно ознакомиться в [2].

Кроме указанных в табл. 1 модуляторов компания Analog Devices выпускает квадратурные модуляторы, содержащие встроенный синтезатор прямого цифрового синтеза (DDS). Параметры DDS-модуляторов приведены в табл. 2.

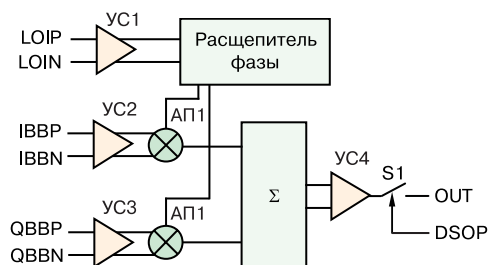


Рис. 7. Функциональная схема квадратурного модулятора ADL5375

Табл. 2. Основные характеристики DDS-модуляторов компании Analog Devices

Тип ИМС	Макс. тактовая частота, МГц	Число разрядов ЦАП	Напряжение питания, В	Ток потребления, макс., мА	Напряжение на выходе ЦАП, макс., В	Интерфейс
AD9856	200	12	3.0	530	–	параллельный
AD9857	200	14	3.3	615	1.5	последовательный
AD9957	1000	14	1.8, 3.3	759	1.0	последовательный

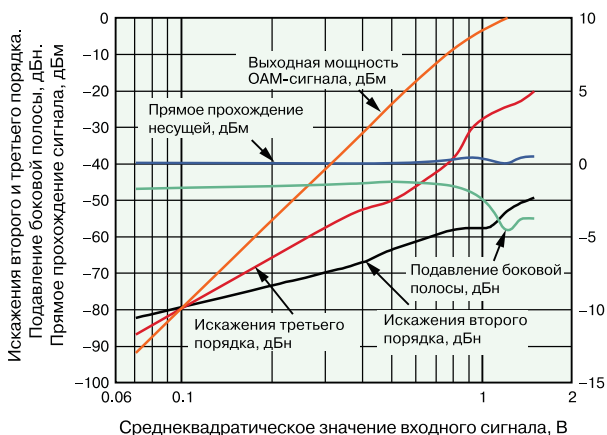


Рис. 8. Зависимость основных параметров квадратурного модулятора ADL5375-15 от уровня входного сигнала при частоте несущего колебания 2.1 ГГц

Модуляторы, построенные на основе DDS-синтезаторов, имеют целый ряд преимуществ по сравнению с обычными:

- программируемую подстройку частоты и фазы несущего колебания с высоким разрешением
- быструю перестройку частоты и фазы
- низкий уровень фазовых шумов и искажений [1-3].

На рис. 9 приведена упрощенная функциональная схема DDS-модулятора типа AD9856.

На вход COMPLEX DATA IN подается цифровой поток данных, содержащий I- и Q-составляющие модулирующего сигнала. Поток данных разделяется на две составляющие и преобразуется во входном блоке модулятора в параллельный код. В каждом канале (I и Q) сигналы обрабатываются с помощью программируемых интерполяторов, которые фактически реализуют функцию цифровых фильтров нижних частот. Выходные сигналы интерполяторов поступают на цифровые перемно-

жители, на вторые входы которых подаются квадратурные составляющие несущего колебания, сформированного в DDS-синтезаторе. Выходные сигналы перемножителей складываются и через блок INV SINC ($SINC = \sin(x)/x$) суммарный сигнал подается на ЦАП. Блок INV SINC осуществляет предварительную коррекцию цифрового сигнала для уменьшения искажений на выходе ЦАП.

Программируемый умножитель тактовой частоты, включенный между выводом ИМС REFERENCE CLOCK IN и входом DDS-синтезатора, позволяет дискретно перестраивать частоту сигнала синхронизации, управляющего работой синтезатора. Максимальная частота тактового генератора на входе REFERENCE CLOCK IN может быть равна 200 МГц. Однако, если в распоряжении разработчика нет такого высокочастотного генератора с требуемой стабильностью частоты, то можно использовать сигналы тактовой синхронизации с более низкой частотой. Встроенный умножитель частоты позволяет повысить ее от 4 до 20 раз.

DDS-модулятор AD9957 имеет более широкий диапазон изменения тактовой частоты в сравнении с модуляторами AD9856 и AD9857. На входе синхронизации частота может изменяться в диапазоне 60...1000 МГц. Наличие программируемого умножителя частоты на основе системы ФАПЧ позволяет расширить этот диапазон в сторону более низких частот до 3.2...60 МГц. Кроме того, модулятор AD9957 содержит встроенный генератор тактовой частоты, для стабилизации частоты которого предусмотрено подключение внешнего кварцевого резонатора.

Отличительной особенностью DDS-модуляторов AD9856 является возможность выбора режима работы в качестве квадратурного мо-

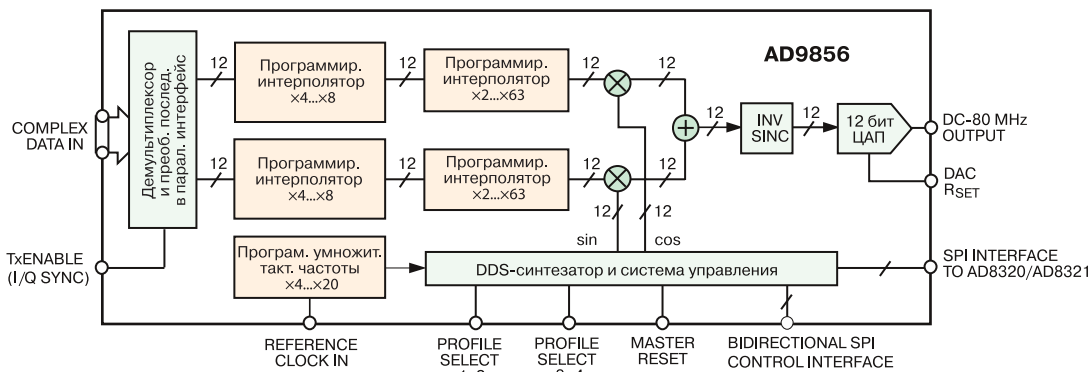


Рис. 9. Упрощенная функциональная схема DDS-модулятора AD9856

дулятора или модулятора с однональной модуляцией. Модуляторы AD9857, AD9957 дополнительно имеют третий режим работы – в качестве интерполирующего ЦАП.

В рамках обзорной статьи можно ознакомиться только с основными особенностями и функциональными возможностями DDS-синтезаторов. Более подробную информацию можно получить в [8].

С другими компонентами для построения беспроводных систем связи мы будем знакомить читателей в последующих публикациях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макаренко В. Компоненты для построения беспроводных устройств связи, часть 1 // ЭКИС – Киев: VD MAIS, 2009, № 3.

2. <http://www.analog.com/en/rfif-components/modulatorsdemodulators/products/index.html>.

3. http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD8340.pdf.

4. http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD8341.pdf.

5. http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADL8359.pdf.

6. http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD8349.pdf.

7. http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADL5375.pdf.

8. <http://www.analog.com/en/rfif-components/dds-modulators/products/index.html>.

9. http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD9856.pdf.

Радио хобби



<http://radiohobby.Ldc.net>

Подписка в любом почтовом отделении Украины (индекс 74221), России и других стран СНГ (индекс 45955)

**ХОЧЕШЬ
ПЛЕЧЕНОХ**

СДЕЛАТЬ САМ	MP3-плеер? Ламповый High-End? Сабвуфер? Радиостанцию? GSM-сигнализацию с возможностью ДУ? OBD-2 адаптер к автомобилю?
БЫТЬ В КУРСЕ	последних достижений мировой электронной техники, технологий и программ анализа и разработки электронных схем?
ИМЕТЬ ПОД РУКОЙ	схемный дайджест лучших конструкций из трех десятков журналов США, Японии, Англии, Германии, Чехии, Франции?
УМЕТЬ ЭФФЕКТИВНО РАБОТАТЬ	в эфире, в сети INTERNET и любительской FidoNET?

Тематика журнала

- ✓ любительская и профессиональная связь
- ✓ аудиотехника ламповая и транзисторная, Hi-Fi и High-End
- ✓ телевидение
- ✓ микроконтроллеры, автоматика
- ✓ бытовая и автомобильная электроника
- ✓ ремонт, обмен опытом
- ✓ новые электронные компоненты, техника и технология
- ✓ измерительная техника
- ✓ компьютеры, ИНТЕРНЕТ, ФидоНет в радиолобительской и инженерной практике
- ✓ схемотехнический дайджест из трех десятков зарубежных журналов

Адрес редакции:
а/я 56, Киев-190, 03190
тел. (044) 3609096
моб.тел. 0949256096
email: radiohobby@ukr.net

