

КОМПОНЕНТЫ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ УСТРОЙСТВ СВЯЗИ, часть 1

В статье рассматриваются пути построения беспроводных устройств связи и компоненты, необходимые для их реализации. В первой части приведен обзор малошумящих высокочастотных усилителей и усилителей промежуточной частоты, выпускаемых компанией Analog Devices.

COMPONENTS FOR CONSTRUCTION OF WIRELESS COMMUNICATION DEVICES, part 1

Abstract – In article ways of construction of wireless communication devices and components for their implementation are observed. In the first part survey low noise radio-frequency amplifiers and amplifiers of intermediate frequency manufactured by Analog Devices company are represented.

В. Макаренко

V. Makarenko

На сегодняшний день в эксплуатации находятся аналоговые, цифровые и комбинированные (гибридные) системы связи, в которых возможна обработка как аналоговых, так и цифровых сигналов. Несмотря на то, что во многих системах радиосвязи широко используется цифровая обработка сигналов, передача сигналов осуществляется аналоговыми методами. При передаче и приеме сигналов необходимо обеспечить высокую стабильность характеристик аналоговой части трактов, хорошую избирательность и чувствительность радиоприемных устройств.

В основе современных радиоприемных устройств лежат две схемы – супергетеродинная (с однократным или многократным преобразованием частоты) и прямого преобразования частоты. Синтез сигналов, передаваемых в эфир, также осуществляется двумя методами: формированием передаваемого сигнала на низкой частоте с последующим переносом в об-

ласть радиочастот или формированием передаваемого сообщения непосредственно на высокой частоте.

На рис. 1 показана функциональная схема приемопередающего тракта с использованием повышающих (в передающем тракте) и понижающих (в приемном тракте) преобразователей частоты. В приемном тракте может быть использован и повышающий преобразователь частоты. Приемный тракт (см. рис. 1) построен по супергетеродинной схеме с однократным преобразованием частоты. Сигнал с выхода антенны через диплексер и полосовой фильтр ПФ1 поступает на малошумящий усилитель (МШУ), характеристики которого определяют отношение сигнал/шум на выходе приемника. Через второй полосовой фильтр ПФ2 сигнал поступает на один из входов первого преобразователя частоты – смесителя (СМ1). На второй вход СМ1 подается сигнал несущей, формируемый блоком синтезаторов частоты. Че-

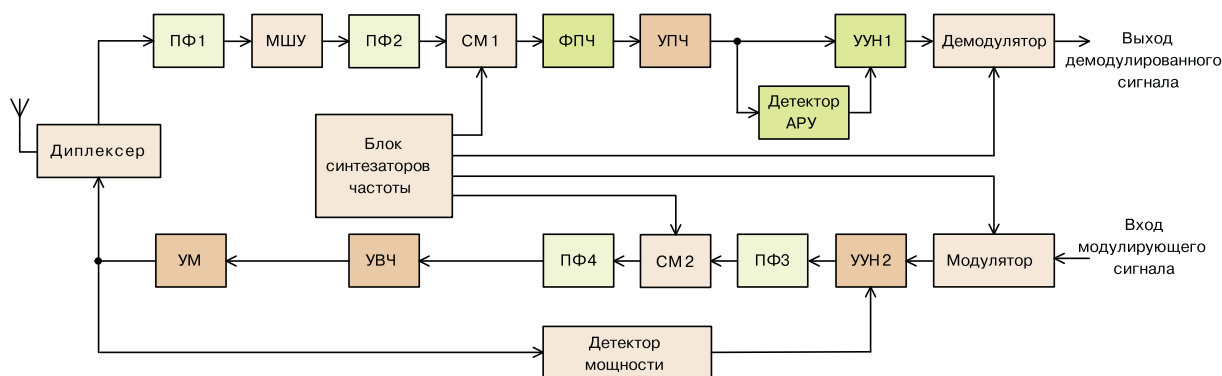


Рис. 1. Функциональная схема супергетеродинного приемопередатчика

рез фильтр и усилитель промежуточной частоты (ФПЧ и УПЧ) сигнал разностной частоты, формируемый на выходе СМ1, поступает на первый усилитель, управляемый напряжением (УУН1), коэффициент усиления которого определяется напряжением на выходе детектора АРУ (автоматической регулировки усиления). Усилитель и детектор образуют контур АРУ, необходимый для стабилизации амплитуды сигналов на выходе тракта ПЧ. Выходной сигнал усилителя УУН1 поступает на вход демодулятора.

Схемы построения трактов с аналоговой и цифровой обработкой сигналов аналогичны. Различаются только способы построения демодуляторов. В схемах с двойным (реже – с тройным или более) преобразованием частоты добавляются еще один смеситель, фильтр и усилитель промежуточной частоты. Достоинствами супергетеродинных приемников являются высокая чувствительность благодаря тому, что основное усиление сигнала в приемнике производится в сравнительно узкополосном УПЧ, и высокая избирательность, определяемая характеристиками ФПЧ. К недостаткам можно отнести наличие помехи по зеркальному каналу, существенного ослабления которой можно добиться повышением промежуточной частоты. В приемниках с многократным преобразованием производится повышение первой ПЧ. Перечисленные факторы обеспечивают широкое распространение супергетеродинных приемников.

В передающей части приемопередатчика сигнал, формируемый на выходе модулятора, переносится в область высоких частот с помощью второго смесителя частоты (СМ2). Сигнал несущего колебания формируется в блоке

синтезаторов частоты. Для ограничения полосы частот передаваемого сообщения служат фильтры ПФ3 и ПФ4. С выхода ПФ4 ВЧ-сигнал через усилитель высокой частоты (УВЧ), усилитель мощности (УМ) и дуплексер поступает в антенну. Для стабилизации уровня излучаемой мощности схема передатчика охвачена отрицательной обратной связью. Сигнал с выхода УМ через детектор мощности поступает на вход управления усилителя УУН2 и изменяет его коэффициент усиления. Достоинством такой схемы является высокая стабильность частоты несущего колебания, формируемого синтезатором частоты.

Функциональная схема приемопередатчика с прямым преобразованием сигналов в приемном и передающем трактах показана на рис. 2. В отличие от предыдущей схемы, в ней отсутствуют преобразователи частоты. На демодулятор подается усиленный сигнал высокой частоты. В таких приемниках демодулятор обязательно должен быть построен по схеме синхронного детектора, одновременно выполняющего функцию избирательного усилителя. Основное усиление сигнала в таком приемнике осуществляется в демодуляторе и усилителе демодулированного (низкочастотного) сигнала. Неискаженный прием сложных сигналов в таких приемниках возможен только при условии равенства частот принимаемого сигнала и сигнала управления демодулятором, формируемого в блоке синтезаторов частоты. Если это условие не выполняется, на выходе демодулятора появляется сигнал биений с частотой, равной разности несущей частоты принимаемого сигнала и частоты управления.

В передающей части модулированный радиосигнал формируется непосредственно на

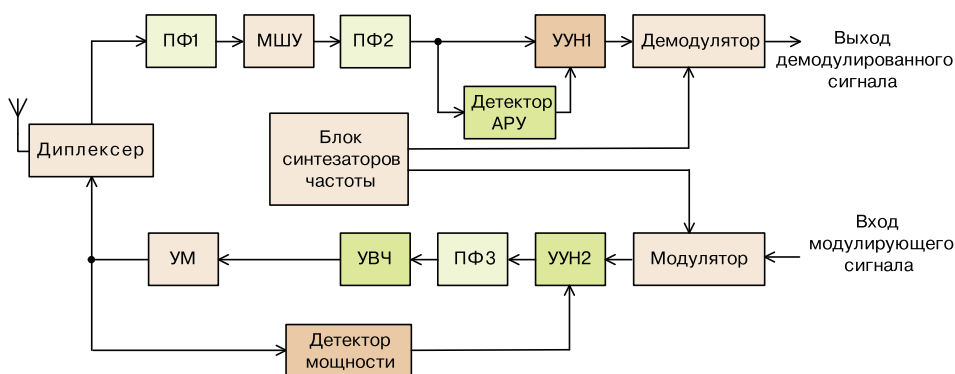


Рис. 2. Функциональная схема приемопередатчика с прямым преобразованием сигналов

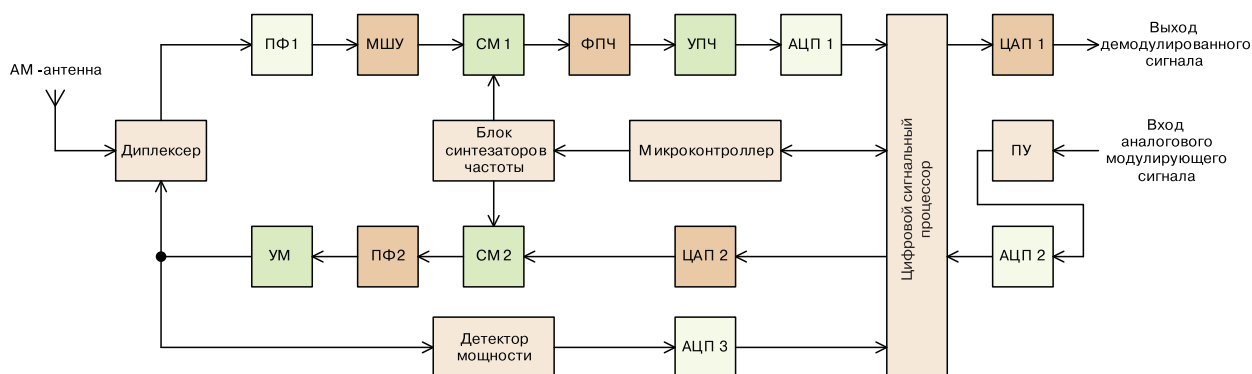


Рис. 3. Функциональная схема приемопередатчика с цифровой обработкой сигналов

выходе модулятора. Через усилитель УУН2, предназначенный для стабилизации уровня излучаемой мощности, и ПФ3, ослабляющий составляющие спектра сигнала, лежащие вне полезной полосы, высокочастотный сигнал поступает на УВЧ, УМ и через диплексер – в антенну. Такой способ построения приемопередатчиков в последние годы находит все более широкое применение.

В аналоговых радиостанциях используется схема с преобразователями частоты в трактах передачи и приема, т.е. супергетеродинная схема. В цифровых радиостанциях и системах мобильной связи используются оба способа построения приемопередатчиков. На рис. 3 приведена функциональная схема приемопередатчика с цифровой обработкой сигналов, пригодного как для аналоговой, так и для цифровой радиосвязи.

Входная часть приемника построена по супергетеродинной схеме (аналогично схеме, показанной на рис. 1). С выхода УПЧ сигнал промежуточной частоты через аналого-цифровой преобразователь (АЦП1) подается на вход цифрового сигнального процессора (ЦСП), в котором осуществляется демодуляция и все необходимые преобразования сигнала (например, декодирование, расширение динамического диапазона и др.). Обработанный сигнал преобразуется в аналоговую форму с помощью первого цифро-аналогового преобразователя (ЦАП1).

В канале передачи аналоговый сигнал через предварительный усилитель (ПУ) и второй преобразователь АЦП2 поступает на вход ЦСП, в котором осуществляется кодирование, модуляция и усиление информационного сигнала. Через ЦАП2 преобразованный сигнал

подается на первый вход второго смесителя СМ2, в котором осуществляется перенос спектра передаваемого сигнала на нужную частоту. На второй вход СМ2 подается сигнал несущей частоты. С выхода смесителя СМ2 через полосовой фильтр ПФ2, выделяющий необходимую полосу частот, сигнал подается на усилитель мощности (УМ) и через диплексер – в антенну. Поддержание постоянной мощности на выходе передатчика осуществляется регулировкой амплитуды сигнала на выходе ЦСП. Детектор мощности, подключенный к выходу УМ, формирует напряжение, пропорциональное среднему значению мощности сигнала в антенне, которое через АЦП3 подается на вход ЦСП, где и осуществляется регулировка выходной мощности.

Конечно, типы схем приемопередатчиков не ограничиваются приведенными выше, но анализ этих схем позволяет сделать вывод о том, что ряд элементов радиотрактов используется при построении как аналоговых, так и цифровых устройств. К их числу относятся маломощные высокочастотные усилители и усилители промежуточной частоты, смесители, диплексеры, усилители, управляемые напряжением, синтезаторы частоты и др.

Компания Analog Devices выпускает в широкой номенклатуре указанные ИМС. Рассмотрим характеристики малошумящих усилителей высокой и промежуточной частоты, основные параметры которых приведены в таблице 1 [1].

Наименьший коэффициент шума имеют усилители ADL5521 и ADL5523, очень близкие по характеристикам и конструктивному исполнению, выпускаемые в миниатюрных 8-выводных корпусах типа CP-8-2 [2, 3]. Уси-

Табл. 1. Основные характеристики высокочастотных усилителей компании Analog Devices

Тип ИМС	Диапазон усиливаемых частот, МГц	Коэф-фициент усиления, дБ	ОИРЗ, * дБм	Коэф-фициент шума, дБ	Макс. ток потребления, мА	Рабочий диапазон частот, ** МГц	Назначение
AD8353	1...2700	19.5	22.8	5.6	42	900	Усилит. блок
AD8354	1...2700	19.5	19.3	4.4	25	900	Усилит. блок
ADL5320	400...2700	13.7	42	4.2	104	2140	Драйвер
ADL5321	2300...4000	14	41	4	84	2600	Драйвер
ADL5322	700...1000	19.9	45.3	5	320	900	Драйвер
ADL5323	1700...2400	19.5	43.5	5	320	2140	Драйвер
ADL521	400...4000	15.8	35	1	65	1950	МШУ
ADL5523	400...4000	17	34	1	65	1950	МШУ
ADL5530	0...1000	16.8	37	3	110	190	УПЧ
ADL5531	20...500	20.9	41	2.5	100	70	УПЧ
ADL5534	20...500	20	40	2.5	110	70	Сдвоенный УПЧ
ADL5541	50...6000	14.7	39.2	3.8	92	2000	Усилит. блок
ADL5542	50...6000	18.7	39	3.2	92	2000	Усилит. блок

* Коэффициент интермодуляционных искажений третьего порядка.
 ** Диапазон частот, в котором нормируются характеристики ИМС.

Табл. 2. Зависимость параметров усилителей ADL5521/ADL5523 от частоты сигнала

Рабочая частота, МГц	Коэф. шума, дБ	Коэф. усиления, дБ	$P_{\text{вых}}$, дБм	ОИРЗ, дБм ($P_{\text{вых}} = 0$ дБм)
900	0.9/0.8	20.8/21.5	20.8/20.3	34.0/32.5
1950	1.0/1.0	15.8/17.0	21.0/20.7	35.0/34.0
2600	1.0/0.9	13.0/13.5	20.6/20.5	35.0/35.0
3500	1.1/1.0	10.5/11.3	20.3/20.1	36.0/35.0

Усилитель ADL5523 имеет больший коэффициент усиления и меньший уровень шума, чем ADL5521. В табл. 2 приведены сравнительные характеристики этих усилителей для различных диапазонов частот, а на рис. 4 – графики зависимости коэффициента усиления, интермодуляционных искажений и коэффициента шума от температуры среды в частотном диа-

пазоне 1920...1980 МГц (центральная частота диапазона 1950 МГц). Как следует из графиков рис. 4, уровень шума с ростом температуры возрастает, а коэффициент усиления и уровень интермодуляционных искажений снижаются. В [2, 3] приведены схемы включения усилителей ADL5521 и ADL5523 (рис. 5) и даны рекомендации по выбору параметров элементов для различных диапазонов частот.

Элементы, обозначенные на схеме рис. 5 как R2 и R3, выполняются в виде печатных проводников с заданными геометрическими размерами, приведенными в [2, 3], там же даны значения номиналов конденсаторов и резисторов для различных диапазонов частот, а также приведен чертеж печатной платы.

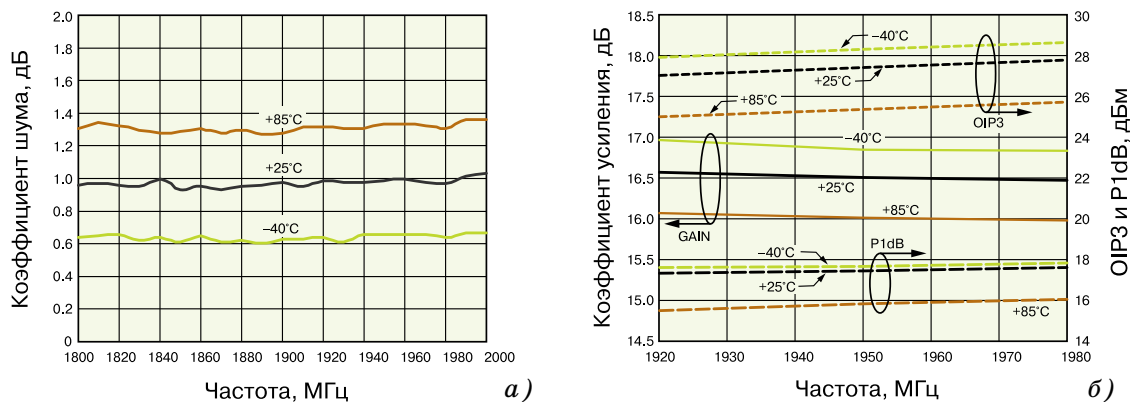


Рис. 4. Зависимости коэффициента шума (а), коэффициента усиления, интермодуляционных искажений и максимальной выходной мощности (б) усилителя ADL5523 от частоты сигнала и температуры среды

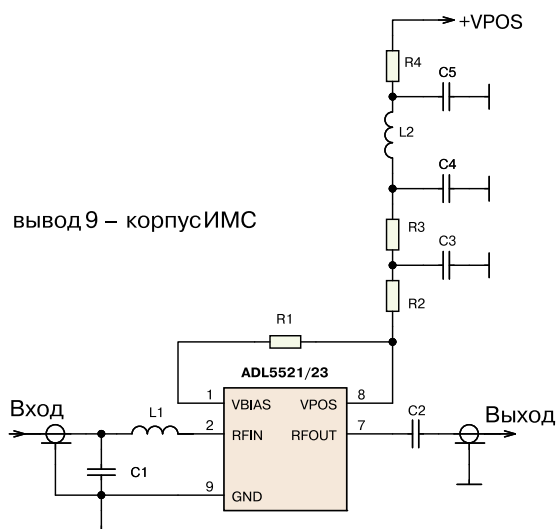


Рис. 5. Схема включения усилителей ADL5521 и ADL5523

Усилители промежуточной частоты ADL5530, ADL5531 и ADL5534 также имеют очень низкий коэффициент шума, не превышающий величины 3 дБ [4, 5]. Усилитель ADL5534 содержит два УПЧ типа ADL5531 в одном корпусе. Все три усилителя могут работать от однополярного источника напряжения 5 В (ADL5530 – от 3 до 5 В) и потребляют мощность, не превышающую 900 мВт для двоярного усилителя и 600 мВт – для одиночного. ИМС ADL5530 и ADL5531 выполнены в 8-выводном корпусе, а ADL5534 – в 16-выводном. Корпус одновременно служит теплоотводом и соединен с общим проводом.

ИМС ADL5530 имеет фиксированный коэффициент усиления, равный 16.5 дБ, коэффициент интермодуляционных искажений

OIP3 не более 37 дБм, диапазон усиливаемых частот до 1000 МГц (снизу диапазон определяется емкостью разделительного конденсатора и допустимым уровнем шумов). На рис. 6 приведены зависимости коэффициента усиления и уровня собственных шумов от частоты при различных значениях температуры окружающей среды. Анализируя зависимость шума от частоты, можно сделать вывод о том, что рабочий диапазон охватывает область частот 70...1000 МГц. И если коэффициент усиления до частоты 10 МГц сохраняется равным примерно 16 дБ, то коэффициент шума с уменьшением частоты растет очень быстро.

Усилители ADL5531 и ADL5534 имеют фиксированный коэффициент усиления 20 дБ, рабочий диапазон частот до 500 МГц и совсем другой характер зависимости шума от частоты (рис. 7). Как следует из графиков, уровень шума в диапазоне частот от 10 до 500 МГц не превышает 4 дБ, причем в области более низких частот, вплоть до частоты 10 МГц, он существенно снижается, что позволяет использовать эти ИМС в указанном диапазоне. В [4, 5] можно найти подробную информацию об этих усилителях и рекомендуемые схемы их включения.

Усилители ADL5541, ADL5542, AD8353 и AD8354, которые классифицируются компанией Analog Devices как усилительные блоки, обеспечивают усиление ВЧ-сигналов в широком диапазоне частот [1]. ИМС ADL5541 и ADL5542 предназначены для работы в диапазоне частот от 100 до 6000 МГц и обеспечивают очень низкий коэффициент интермодуля-

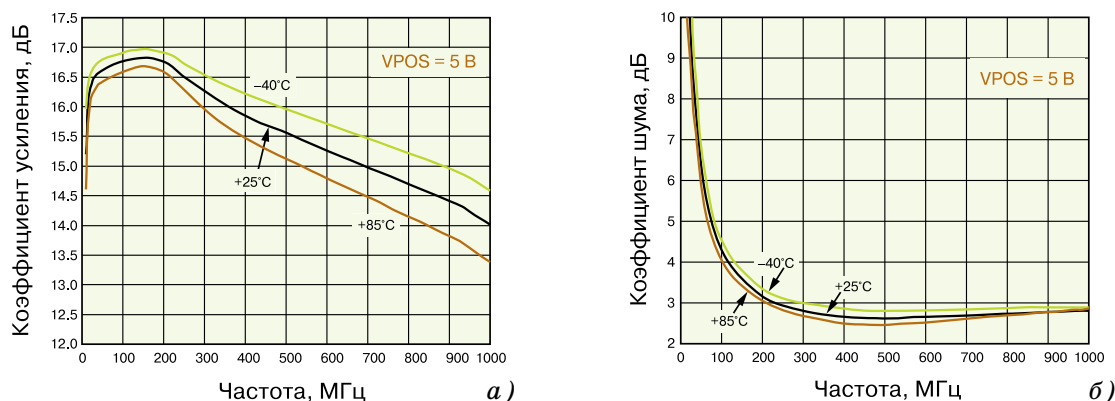


Рис. 6. Зависимости коэффициента усиления (а) и коэффициента шума (б) усилителя ADL5530 от частоты сигнала и температуры среды

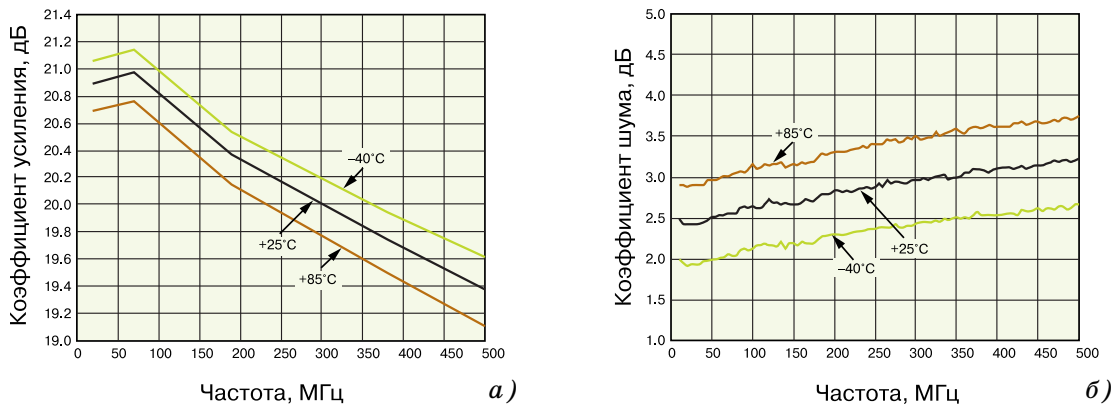


Рис. 7. Зависимости коэффициента усиления (а) и коэффициента шума (б) усилителя ADL5531 (ADL5534) от частоты и температуры среды

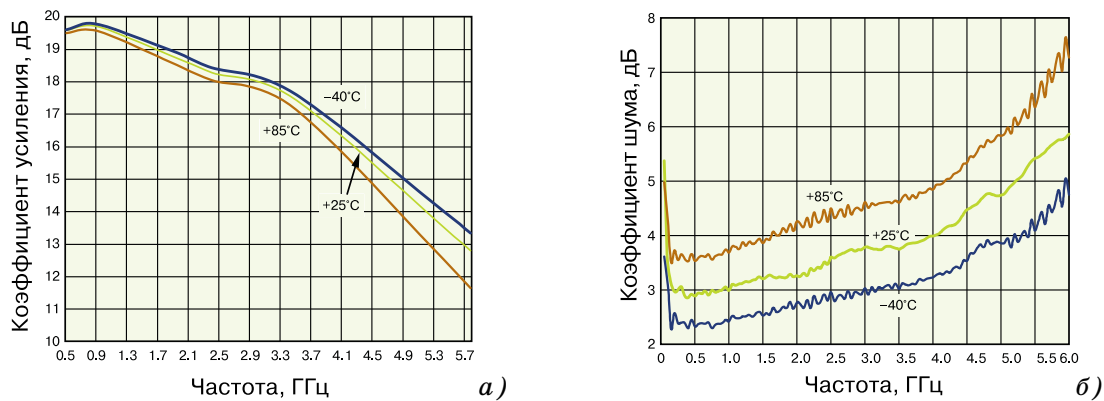


Рис. 8. Зависимости коэффициента усиления (а) и коэффициента шума (б) усилителя ADL5542 от частоты и температуры среды

ционных искажений: 46 дБм на частоте 900 МГц для ADL5542 и 44 дБм – для ADL5541. В табл. 3 приведены сравнительные характеристики усилительных блоков. Так как блоки имеют достаточно большую выходную мощность, их можно использовать в качестве буферных усилителей для раскачки мощных усилителей передатчиков или в качестве

выходных усилителей маломощных передатчиков.

На рис. 8 приведены графики зависимости коэффициента усиления и коэффициента шума усилителя ADL5542 от частоты и температуры среды. С ростом частоты коэффициент шума монотонно возрастает, а коэффициент усиления снижается. При этом снижение коэффициента

усиления в диапазоне частот 0.1...5.8 ГГц на 7.5 дБ приводит к уменьшению максимальной выходной мощности в линейном режиме на 12.8 дБм.

Типовая схема включения ADL5542 приведена на рис. 9.

Усилители драйверов (табл. 1) предназначены для использования в качестве ВЧ-усилителей или предварительных усилителей мощности ба-

Табл. 3. Основные характеристики высокочастотных усилительных блоков

Тип ИМС	Частота, МГц	Диапазон рабочих частот, МГц	Коэф. шума, дБ	Коэф. усиления, дБ	$P_{\text{вых}}$, дБм	OIP3, дБм
ADL5541	100	100...6000	3.5	15.1	19	38
	5800		6.0	11.2	5.8	21.9
ADL5542	100	100...6000	2.7	20.2	19.6	38
	5800		5.7	12.7	6.8	24.2
AD8353	900	1...2700	5.3	19.8	9.1	23.6
	2700		6.8	15.6	7.6	19.5
AD8354	900	1...2700	4.4	19.5	4.8	19.3
	2700		5.6	17.1	3.6	15.3

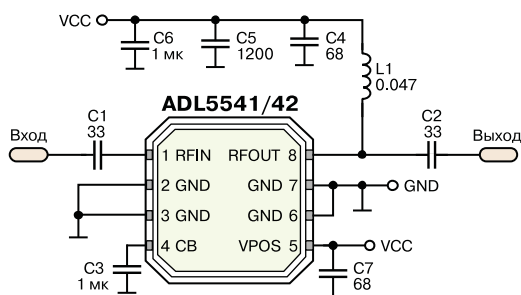


Рис. 9. Типовая схема включения усилителей ADL5541 и ADL5542

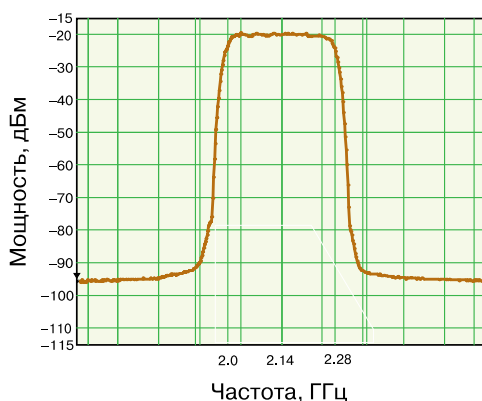


Рис. 10. Спектр сигнала WCDMA с одной несущей частотой

зовых станций CDMA2000, WCDMA и GSM. Они отличаются сравнительно узкой полосой

пропускания, малым уровнем шума (не более 5 дБ) и повышенной выходной мощностью [6]. Рассмотрим, например, типовой спектр сигнала WCDMA с одной несущей частотой, приведенный на рис. 10.

Так как энергия спектра сосредоточена в сравнительно узком диапазоне частот, то и требования к полосе пропускания усилителя должны соответствовать ширине спектра усиливаемых сигналов. Для усилителя ADL5323 эта полоса составляет 1.7...2.4 ГГц, что хорошо согласуется со спектрами сигналов базовых станций. Подробнее с характеристиками высокочастотных драйверов можно познакомиться на web-сайте компании Analog Devices [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.analog.com/en/rfif-components/rfif-amplifiers/products/index.html>.
2. http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADL5521.pdf.
3. http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADL5523.pdf.
4. http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADL5530.pdf.
5. http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADL5531.pdf.
6. www.analog.com.

ВНИМАНИЕ!

Выпущена электронная версия журнала ЭКиС за 2000-2008 годы

Идя навстречу просьбам читателей журнала ЭКиС, редакция подготовила электронную версию журнала за 2000-2008 годы, выполненную на CD-ROM.

Заявки на приобретение дисков принимаются по адресу:
 03061 Киев, ул. М. Донца, 6, НПФ VD MAIS
 e-mail: j.schudlo@vdm.kiev.ua
 или факсу: (044) 220-0202.

Стоимость диска с электронной версией ЭКиС в зависимости от объема размещенной информации (без учета расходов на пересылку почтой):

2006-2008 г.	30 грн.
2005-2008 г.	40 грн.
2004-2008 г.	50 грн.
2003-2008 г.	60 грн.
2002-2008 г.	70 грн.
2000-2008 г.	80 грн.

Контактное лицо: Щудло Юлия
В заявке должны быть указаны:
 Ф.И.О, должность заказчика
 и его реквизиты.

Отправка дисков заказчиком производится после оплаты счета.

