

СВЧ-преобразователи частоты.

Часть 3. Виды корпусирования и конструктивного выполнения преобразователей

Сергей ДИНГЕС,
к. т. н.
Виктор КОЧЕМАСОВ,
к. т. н.

При рассмотрении преобразователей частоты в данном цикле публикаций они в первую очередь классифицировались в определенные группы по принципу функционирования, невзирая на их конструктивное выполнение (форм-фактор). В этой статье приводятся основные сведения о ряде не упоминавшихся ранее ПрЧ, имеющих разные конструктивные исполнения. Наряду с наиболее востребованными коаксиальными и волноводными компонентами используются преобразователи в виде автономных (Stand Alone) устройств для настольной или напольной установки в полном корпусе или шкафу, монтируемых в стойку (Rack Mount), приборных или настольных (Desktop) устройств.

Интегральные схемы

Компания Qorvo Inc, являющаяся одним из лидеров производства ВЧ и СВЧ ИС, появилась в 2015 г. в результате слияния RFMD и TriQuint — производителей СВЧ-компонентов. В настоящее время она предлагает на рынке РЧ-компоненты, ранее разработанные обоими производителями. Наиболее активно компания использует вариант корпусирования QFN.

Компания предлагает 12 моделей понижающих ПрЧ (табл. 1). Наиболее низкочастотной является модель преобразователя SMY213 0,5–2,5 ГГц с ПЧ 0,05–0,25 ГГц. Наиболее высокочастотная модель — ПЗК ПрЧ TGC4610-SM К-диапазона 17–27 ГГц с ПЧ, равной 0–4 ГГц. Преобразователь размещается в 28-выводном корпусе QFN размером 5×5 мм.

Таблица 1. Наиболее высокочастотные ИС преобразователей с разным корпусированием

Модель (производитель)	РЧ, ГГц	ПЧ, ГГц	Гетеродин, ГГц	$K_{пр}$, дБ	$U_{пит}$, В / $I_{пит}$, мА	Технология, корпус
ПрЧПон						
TGC4610-SM (Qorvo)	17–27	0–4	6,5–15,5	15	6/500	5×5×1,3 мм QFN28
CHR1080a98F (UMS)	71–86	0–12	34,5–44	8	3,5/175	рHEMT, н/к*
CHR3894-QEG (JMS)	37–40	0–3,5	17,5–21	13	4/250	рHEMT, QFN
SMM5144XZ (Sumitomo Electric)	24–30	0–4		12	5/210	WLCSP
ПрЧПов						
TGC4546-SM (Qorvo)	17–27	0–3,5				
SMM5151XZ (Sumitomo Electric)	31–34	0–4		–13	5/125	WLCSP
HMC6146B (Analog Devices)	40–44	0–4	18–22	10–18	3/350	16 выводов 5×5 мм SMT-керамика
XU1004-BD (MACOM)	32–45	0–4	16–25	5	6/380	ПрЧ, передатчик / н/к, ИС
MAUC-010515 (MACOM)	40,5–43,5	0–3,5	18,5/21,75	11	3/300	ПрЧ, ИС

Примечание. * н/к — некорпусированные.

Компания разработала и восемь моделей преобразователей с повышением частоты. Низкочастотная модель квадратурного GaAs

СВЧ-преобразователя RFUV1002 работает на частотах 9–14 ГГц при использовании ПЧ в диапазоне 0–4 ГГц. Наиболее высоко-

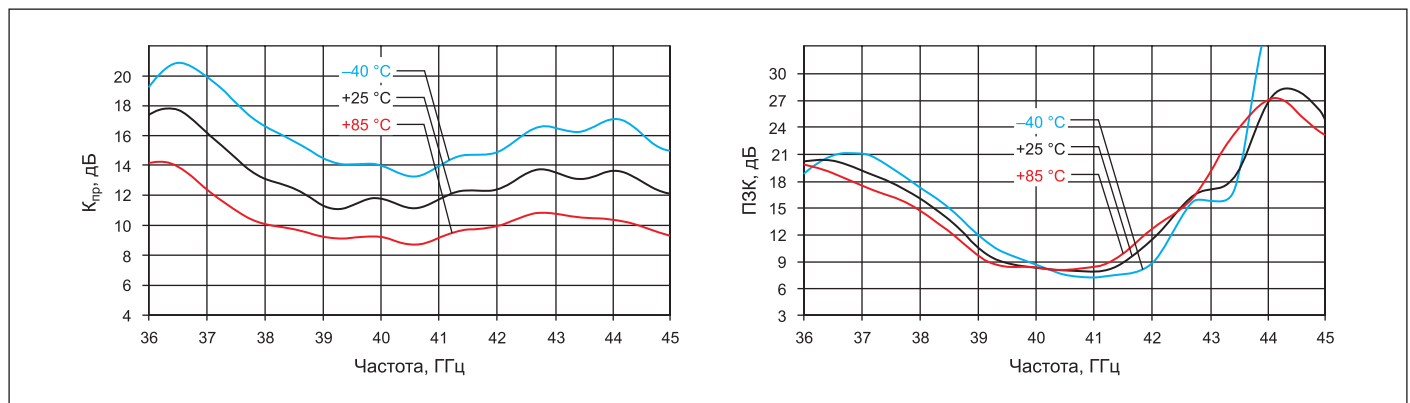


Рис. 1. Зависимости от частоты $K_{пр}$ и подавление ЗК преобразователя частоты TGC4546-SM

частотная модель TGC4546-SM работает в Ka-диапазоне 36–45 ГГц. При использовании ПЧ, равной 0–3,5 ГГц, тракт гетеродина ПрЧ содержит учетверитель частоты.

На рис. 1 для ИС TGC4546-SM, производимой компанией Qorvo, приведены частотные зависимости коэффициента преобразования и подавления сигнала зеркального канала ПЗК, снятые при разной температуре, ПЧ = 2,5 ГГц и сигнале гетеродина 2 дБм.

На рис. 2 показана типовая структура РЧ-блока устройства VSAT Ka-диапазона, в котором применяется комплект ИС, разработанных компанией TriQuint. Во всех четырех ИС использовался разработанный TriQuint арсенид-галлиевый процесс изготовления псевдоморфных транзисторов (GaAs PHEMT). Размещаются ИС в стандартных корпусах QFN.

Усиление сигнала в тракте передачи осуществляется двумя компонентами: усилителем с регулируемым коэффициентом усиления TGA4541-SM и усилителем TGA4539-SM. Выходной сигнал усилителя TGA4541-SM можно изменять в широком диапазоне 30 дБ.

Понижающий преобразователь TGC4408-SM, выполненный в 32-контактном корпусе QFN размером 5×6 мм, включает в себя двухдиапазонный переключаемый ГУН, субгармонический смеситель с МШУ и буферные усилители сигнала гетеродина. Диапазон рабочей частоты входного сигнала составляет 18,3–20,2 ГГц, частота ПЧ заключена в диапазоне 950–1950 МГц. Коэффициент преобразования составляет 8,5 дБ, коэффициент шума — 6,5 дБ. Фазовый шум равен –73 дБн/Гц при отстройке от несущей 10 кГц и –126 дБн/Гц при отстройке 1 МГц. В преобразователе также вырабатывается дифференциальный сигнал на четверти частоты ГУН, который может использоваться в петле фазовой автоподстройки частоты. TGC4408-SM потребляет 305 мА от источника напряжения питания +5 В.

СВЧ ИС TGC4407-SM представляет собой субгармонический повышающий преобразователь со встроенным гетеродинным буферным усилителем с диапазоном выходной частоты 21,5–32,5 ГГц, широким диапазоном ПЧ 7–7 ГГц, субгармонической частотой по гетеродинному входу от 11 до 16 ГГц. Этому преобразователю требуется входная мощность гетеродина 0–7,5 дБм. Преобразователь имеет коэффициент преобразования –9 дБ и потребляет 65 мА от источника питания постоянного тока +5 В. Все компоненты производятся, предлагаются оценочные платы.

Японская компания Sumitomo Electric предлагает ряд моделей преобразователей СВЧ ИС, которые предназначены для систем VSAT и радиосвязи. Эти устройства используют повышающий преобразователь для передатчика и понижающий преобразователь для приемника. В состав ММИС входит локальный буферный усилитель, встроенный в СВЧ ИС.

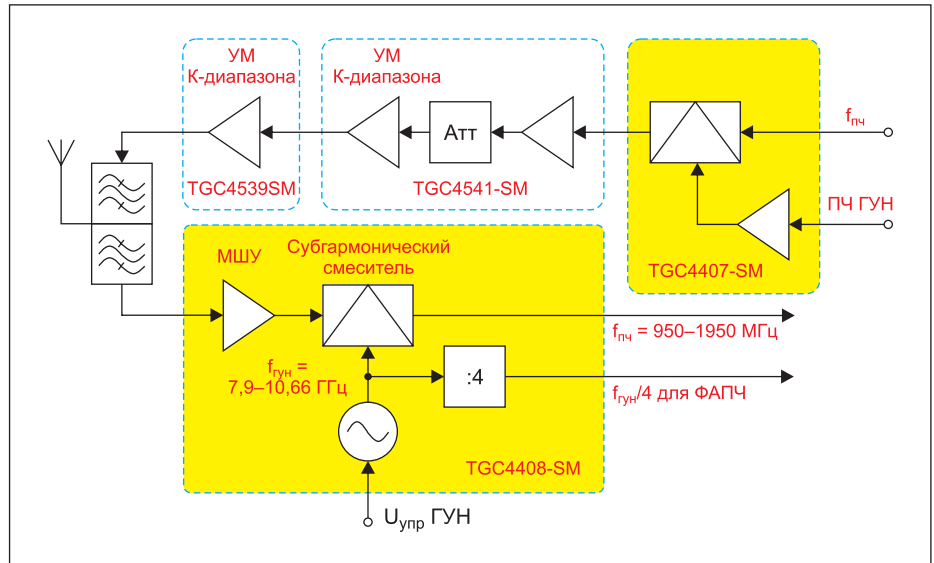


Рис. 2. Структурная схема VSAT терминала Ka-диапазона с использованием комплекта ИС компании Qorvo Inc./TriQuint

В настоящее время производитель предлагает 11 моделей ПрЧ серии SMM51 в корпусах WLCSP (рис. 3). Самой низкочастотной является модель повышающего ПрЧ SMM5138XZ ($f_{рч}$: 12,7–15,4 ГГц; $f_{пч}$: 0–4 ГГц), наиболее высокочастотной — преобразователь с подавлением зеркального канала SMM5151XZ ($f_{рч}$: 31–34 ГГц; $f_{пч}$: 0–4,0 ГГц). ПЧ у ИС равна 0–2 (0–4) ГГц, напряжение питания — 5 В. Ряд моделей содержит встроенный удвоитель частот.

Американская компания MACOM разработала 11 моделей преобразователей частот с повышением. Работая в диапазоне частот 5,6–40 ГГц, преобразователи MACOM могут содержать встроенный смеситель с подавлением зеркального канала, буферные каскады трактов РЧ и гетеродина, удвоитель частоты гетеродина или регулируемый аттенуатор. Выполненные в бессвинцовых QFN- или SMD-корпусах, преобразователи обладают эффективной регулировкой усиления с варьируемым смещением, высокой линейностью и подавлением ЗК с низкой утечкой сигнала гетеродина.

Наиболее высокочастотный GaAs СВЧ ИС преобразователь XU1004-BD компании MACOM, по сути дела представляющий собой тракт передачи, имеет точку пересечения 3-го порядка по выходу 14 дБм во всей полосе рабочих частот 32–45 ГГц. Это устройство представляет собой балансный резистивный смеситель с последующим распределенным выходным усилителем, включает в себя интегрированный удвоитель частоты и буферный усилитель сигнала гетеродина. Такой вариант построения тракта гетеродина в целом более эффективен, чем использование смесителей непосредственно на этих частотах. В ИС используется СВЧ-технология GaAs-транзисторов с высокой подвижностью электронов PHEMT и электронно-лучевая литография для обеспечения высокой повторяемости и однородности изделий. Устройство специально предназначено для использования в радиосвязи точка-точка PtP и, кроме того, пригодно для других телекоммуникационных приложений, например спутниковых систем SATCOM и VSAT.

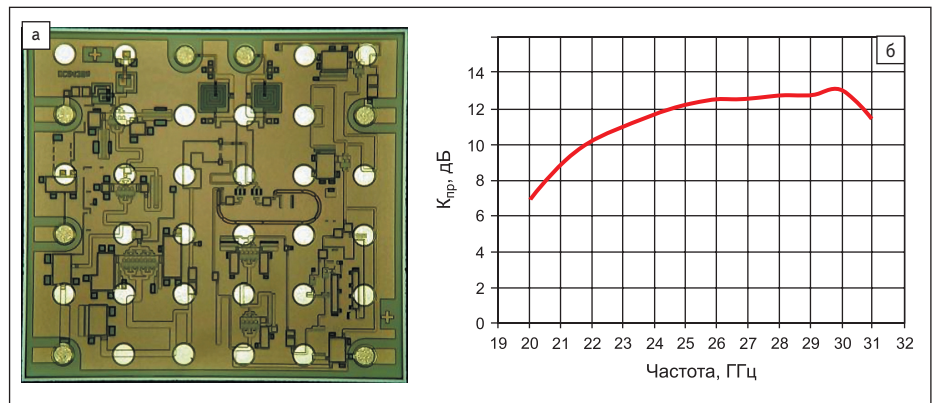


Рис. 3. а) Топология СВЧ ММИС ПрЧ с понижением ES/SMM5144XZ от компании Sumitomo Electric диапазона 24–30 ГГц; б) зависимость $K_{пр}$ от частоты

На рынке СВЧ-компонентов предлагается ряд ПрЧ, разработанных ранее компанией Anadigics. Наиболее высокочастотная модель широкополосного ПрЧ с повышением АСУ2109 позволяет сформировать сигнал диапазона 900–1200 МГц при входных частотах 50–860 МГц и частотах гетеродина 950–2060 МГц.

Монолитный GaAs ИС АСУ2109 включает все компоненты повышающего преобразователя для трактов двойного преобразования цифрового и аналогового кабельного телевидения, кабельных модемов и ТВ-тюнеров: блок усиления, генератор и двойной балансный смеситель. Генератор оптимизирован для удовлетворения требований к стабильности и фазовому шуму цифрового телевидения с сигналом 256QAM, тогда как усилитель и смеситель поддерживают низкий уровень искажений, необходимых для аналоговых сигналов. Это позволяет производителям тюнеров сократить расходы за счет снижения количества компонентов и трудоемкость производства при одновременном повышении производительности и надежности. Преобразователь выпускается в модифицированном низкопрофильном 16-выводном корпусе SOIC и требует только одного источника +5 В.

Такую же структуру и близкие параметры имеет повышающий ПрЧ компании Anadigics для кабельных модемов SATV/TV/Cable АСУ50752. Эта GaAs ИС представляет собой монолитный повышающий преобразователь частоты, предназначенный для использования в тюнерах с двойным преобразованием, и содержит блок усиления, гетеродин и балансный смеситель. Технические характеристики отвечают требованиям приложений телевидения, систем кабельного телевидения и кабельных модемов.

СВЧ-модули

СВЧ-модули выполняются в виде моноблоков, предназначенных для установки в изделия более высокой степени интеграции, в частности в тракты передачи и приема. Модули, как правило, не имеют установленных коаксиальных соединителей, но оснащены стандартными волноводными интерфейсами.

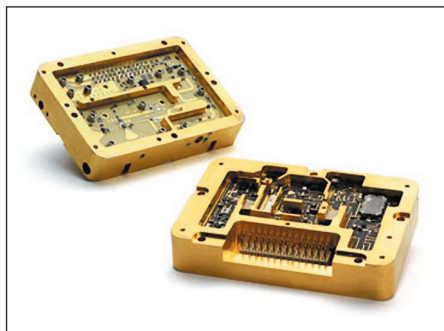


Рис. 4. Конструктивное выполнение СВЧ-модулей преобразователей частоты компании Mercury Systems

Компания Mercury Systems зарекомендовала себя как разработчик высоконадежных узкополосных, широкополосных преобразователей и умножителей частоты для военных и коммерческих приложений высокого класса. Работающие в диапазоне 10 МГц – 40 ГГц узкополосные и широкополосные модули компании Mercury Systems представляют собой сложные устройства с высокой степенью интеграции (рис. 4). Они содержат наборы типовых узлов: схему синтеза сигнала гетеродина, автоматическую регулировку усиления (AGC), встроенную схему тестирования (Built-In-Test, BIT), логарифмический детектор уровня выходного видеосигнала и микропроцессорную температурную компенсацию. Для каждого отдельного применения в преобразователях компании используются необходимые оптимальные технологии, доступные для конкретного частотного диапазона и требуемой производительности.

В качестве примеров наиболее востребованных и высокотехнологичных преобразователей частоты, разработанных компанией Mercury Systems, можно назвать следующие.

- Двухканальные ПрЧ Ку-диапазона в С-диапазон и четырехканальные ПрЧ С-диапазона в L-диапазон со встроенным перестраиваемым синтезированным гетеродином для бортовых систем прямого эфирного вещания DBS по всему миру.
- Широкодиапазонные понижающие ПрЧ для диапазона 1–8 ГГц со встроенными малощумящими ПЧ-усилителями до 160 МГц и индикаторами выходного уровня.

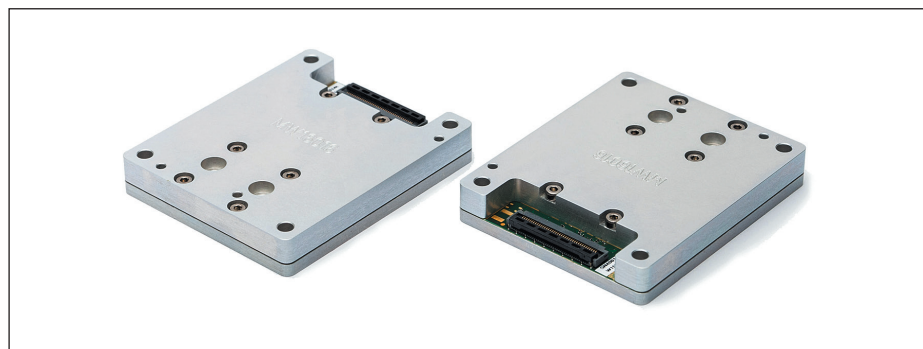


Рис. 5. Конструктивное исполнение модулей преобразователей частоты компании Sivers IMA

- Многооктавный широкодиапазонный сумматор/преобразователь (Combiner/Converter) Ку-диапазона, который принимает и объединяет несколько независимых входных сигналов, осуществляя затем их преобразование вниз по частоте на фиксированную ПЧ.
- Преобразователи частот с повышением Х-диапазона, которые сначала усиливают входной сигнал ПЧ, а затем преобразуют его в диапазон радиочастот.

Операторы связи постоянно стремятся обеспечить более высокую пропускную способность своих систем по более низкой цене и ограниченности частотного спектра. Это заставляет поставщиков услуг радиосвязи искать новые решения. Одним из наиболее экономически эффективных решений является использование частот Е-диапазона.

Компания Sivers IMA сообщила о производстве ПрЧ следующего поколения для радиоканалов Е-диапазона (рис. 5). Преобразователи нового поколения базируются на фирменном кристалле SiGe компании и являются экономичным и высокопроизводительным решением для тех, кто разрабатывает и продает оборудование для построения радиолиний или тестовое и измерительное оборудование для радиолиний и соответствующего оборудования.

Новые преобразователи частот от Sivers IMA предназначены для поддержки очень сложных схем модуляции, обеспечивая рекордную скорость передачи данных до 10 Гбит/с. Краткие сведения о предлагаемых компанией ПрЧ представлены в таблице 2.

Таблица 2. СВЧ-модули ПрЧ, предлагаемые компанией Sivers IMA

Модель	Описание	Рабочие частоты
FC2121E/01	ПрЧПов Е-диапазон	71–76 ГГц, передатчик TX
FC2121E/02	ПрЧПов Е-диапазон	81–86 ГГц, передатчик TX
FC2221E/01	ПрЧПон Е-диапазон	71–76 ГГц, приемник RX
FC2221E/02	ПрЧПон Е-диапазон	81–86 ГГц, приемник RX
FC2121V/01	ПрЧПов V-диапазон	57–66 ГГц, передатчик TX
FC2221V/01	ПрЧПон V-диапазон	57–66 ГГц, приемник RX
CO2201A/00	Оценочная плата ПрЧ	

Оценочная плата ПрЧ

Используя собственную технологию создания гибридных ИС (МНМИС) и СВЧ ИС (ММИС), а также специальную технологию чипирования, компания Nanowave Technologies производит высокофункциональные многокристальные модули МСМ (multi-chip modules) на платформе большого объема (рис. 6). Это позволяет изготовителю сочетать разные технологии для обеспечения компромиссов между производительностью, размером, ценой и объемом изделий для получения оптимальных решений при разработке интегрированных устройств конкретных приложений.

На основе собственных технологий корпусирования и создания тонкопленочных

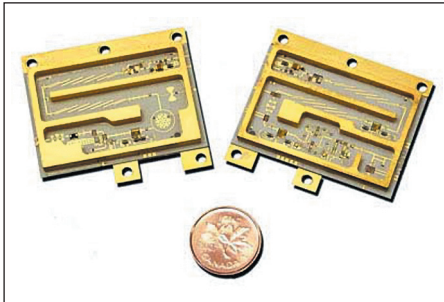


Рис. 6. Многокристалльные модули компании Nanowave Technologies

Таблица 3. Преобразователи частот X-диапазона (приемопередающие модули) серии Mini компании Nanowave Technologies

Модель	Диапазоны	$f_{\text{раб}}$, ГГц	$K_{\text{пр}}$, дБ	Размеры, см
ПрЧПон NWRX0812-00	X/L	$f_{\text{вх}} = 8-12$	29	4,44×4,06×0,54
ПрЧПов NWTX0812-33	L/X	$f_{\text{вхк}} = 8-12$	+9	4,44×4,06×0,54

ИС компания Nanowave Technologies создает компактные и легкие модули приемопередатчиков. Эти миниатюрные модули содержат преобразователи по частоте вверх и вниз сигналов ПЧ L-диапазона. Полная подсистема приемопередатчика получается путем дополнения приемопередающих модулей узлом твердотельного усилителя мощности SSPA.

Компоненты более высокой степени интеграции — подсистемы преобразования частот — содержат основные функциональные блоки, необходимые для реализации системы. Компания реализовала изделия на частоты от L-диапазона до Ka-диапазона. В зависимости от требований к системе поддерживаемые полосы пропускания ПЧ достигают 1 ГГц (табл. 3). Преобразователи корпусируются в разных вариантах коаксиальных блоков, внешний вид которых показан на рис. 7. Чтобы обеспечить преобразование по частоте принимаемых радиолокационных сигналов значительного уровня с добавлением ми-

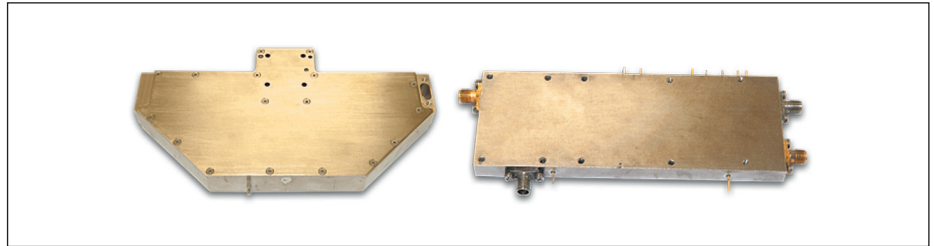


Рис. 7. Подсистемы преобразования вверх и вниз по частоте компании Nanowave Technologies

Таблица 4. Подсистемы преобразования вверх и вниз по частоте компании Nanowave Technologies

Модель	Диапазон	Частота, ГГц	Фазовый шум, дБн/Гц	$f_{\text{опор}}$, МГц	Размер, см
NW00102-00	L	1–2	–120	100, внешний	12,44×9,9×1,52
NW0275295-18	S	2,7–2,9	–125	100, внутренний	14,48×4,82×10,16
NW05557-17	C	5,55–5,7	–120	100, внутренний	14,48×4,82×10,16
NW00812-00	X	8–12	–110	100, внешний	12,44×9,9×1,52

нимального шума, в ПрЧ объединены ограничивающий МШУ, фильтры, смесители и усилители ПЧ. Разработанная компанией технология твердотельных усилителей мощности SSPA наряду с используемой фильтрацией, ПЧ с АРУ и модуляцией обеспечивает высокую эффективность обработки сигналов. Тракты сигнала гетеродина могут содержать умножители на диодах с накоплением заряда SRD, синтезаторы частот или иметь прямой вход внешнего колебания (табл. 4).

Преобразователи форматов PXI/VXI

Современные измерительные системы, позволяющие контролировать широкий ряд разных параметров при проведении испытаний, тестировании и метрологической поверке систем, как правило, строятся по модульному принципу. При разработке новых моделей преобразователей компании-изготовители активно применяют стандарты открытых систем модульного измерительного оборудования PXI или VXI. Преобразователи частот сигналов в форматах PXI и VXI представляют собой функционально закончен-

ные модульные решения для самых разнообразных применений.

Высокочастотные повышающие ПрЧ со встроенными синтезаторами VXIbus 1140В и 1141В компании Phase Matrix идеально подходят для использования в автоматизированных тестовых системах АТЕ. Рабочий диапазон частот этих ПрЧ, реализованных в трех VXI-слотах, составляет 0,01–20 ГГц с разрешением по частоте 1 Гц. В этих устройствах сочетаются уникальные возможности формирования и обработки сигналов со сложной модуляцией и высокая спектральная чистота. На рис. 8 показан внешний вид преобразователя и его структурная схема, из которой видно, что он может не только производить перенос на РЧ внешнего сигнала ПЧ (0,3–1 ГГц), но и перенос бейсбенд-сигнала на РЧ, т. е. осуществлять формирование модулированного сигнала нескольких видов. Модели полностью соответствуют спецификации VXIbus версий 1.3/1.4 и стандартам команд для программируемых приборов SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments) версии 1993.

Семейство разработанных компанией Phase Matrix понижающих преобразователей,

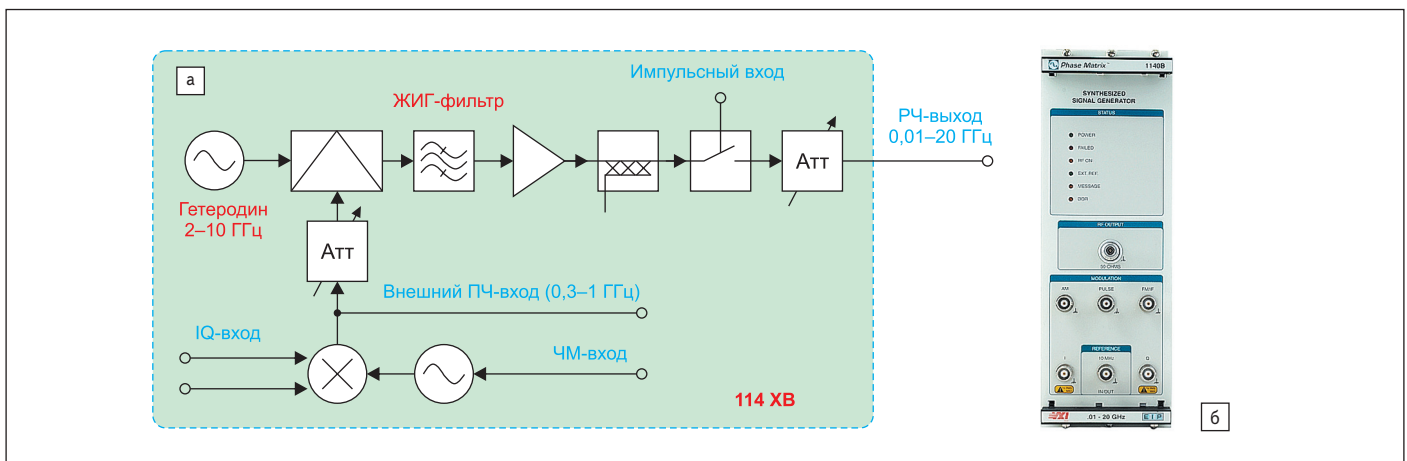


Рис. 8. Преобразователь 114XB от компании Phase Matrix: а) упрощенная структура; б) лицевая панель устройства

Таблица 5. Модули понижающих ПрЧ компании Phase Matrix

Модель	Входной сигнал	Выход ПЧ	Дополнительный вход/выход (AUX IN/OUT)
PXI-1420	РЧ: 2,75–26,5 ГГц	(250 ±175) МГц (Гетеродин, 3–9 ГГц)	100 кГц – 425 МГц
PXI-1430В	10 МГц – 2,9 ГГц (режим преобразования) 100 кГц – 425 МГц (режим обхода)	(250 ±20) МГц	100 кГц – 425 МГц
PXI-1440	ПЧ: 100 кГц – 425 МГц	100 Гц – 425 МГц	ПЧ-выход 21,4 МГц, выбираемая полоса пропускания: 30 кГц – 8 МГц



Рис. 9. Преобразователи частот с понижением, предлагаемые компанией Phase Matrix: а) PXI-1420 MW (2,75–26,5 ГГц); б) PXI-1440B IF (100 кГц – 425 МГц)

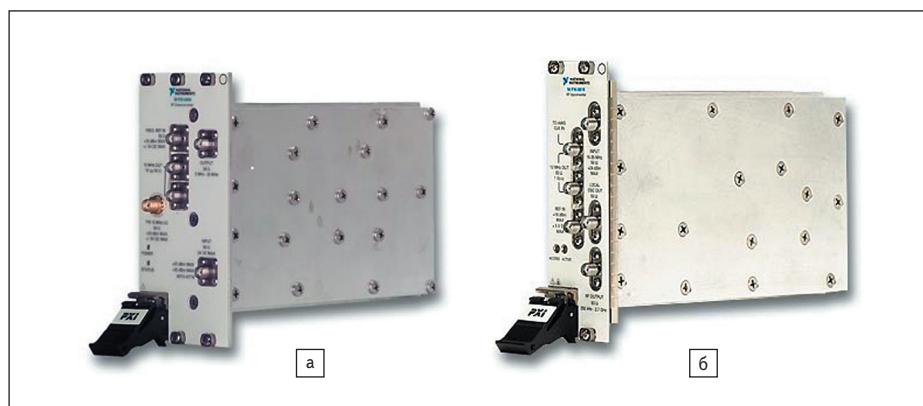


Рис. 10. Конструктивное исполнение от компании National Instruments: а) преобразователя вниз по частоте NI PXI-5600; б) преобразователя вверх по частоте NI PXI-5610

временную базу и легко сопрягается с PXI-блоками цифрового преобразования для систем РЧ-анализа.

Преобразователь PXI-5600 имеет хорошие частотные характеристики во всем рабочем диапазоне частот 9 кГц – 2,7 ГГц. Типовое значение плотности шума менее –140 дБм/Гц, динамический диапазон, свободный от побочных интермодуляционных компонентов, превышает 80 дБ. Типовой фазовый шум составляет менее –94 дБн/Гц при отстройке 10 кГц.

Преобразователь обрабатывает широкий спектр аналоговых входных сигналов в диапазоне +30...–130 дБм при введении 50-дБ входного аттенуатора с шагом 10 дБ. Устройство имеет высокую стабильность частоты, составляющую ±20 ppb (частей на миллиард), и точность частоты ±50 ppb, что делает его востребованным для решения целого ряда задач в области автоматизации.

Характеристики шумов и искажений PXI-5600 являются стабильными и повторяемыми в широком диапазоне времени и температуры. Например, при входном сигнале –30 дБм и полосе измерения 1 МГц повторяемость неусредненного измерения не превышает 0,2 дБ. В PXI-5600 используется программный метод компенсации, позволяющий уменьшить амплитуду ошибок до величин, меньших 0,2 дБ, и обеспечить изменения температуры в пределах 20 °С.

Компания National Instruments выпускает для диапазона 2,7 ГГц преобразователи частоты вверх (NI 5610) и вниз (NI 5600) в нескольких вариантах форм-фактора. Аппаратный модуль NI 5610 является супергетеродинным повышающим преобразователем, который переносит входные сигналы ПЧ между 15 и 35 МГц до требуемой РЧ в диапазоне 250 кГц – 2,7 ГГц. Преобразователь с регулируемым усилением 130 дБ обеспечивает мгновенную полосу пропускания 20 МГц и использует встроенный 10-МГц высокостабильный термостабилизированный кварцевый генератор (ОСХО) с низким фазовым шумом в качестве источника эталонного опорного колебания. Компания-изготовитель NI эти преобразователи использует в ряде изделий, в частности в ПЧ-трансивере PXIe-5641R на платформе PXI.

Приборная реализация преобразователей частоты

Преобразователи частоты в приборном варианте применяются, в основном, в лабораторных, тестовых контрольно-измерительных линейках оборудования компаний Farran Technology, Syntonic Microwave, которые упомянуты в других разделах данного обзора.

Для обеспечения максимальной производительности коммуникационной системы необходимо минимизировать влияние ис-

выполненных в формате PXI, состоит из пяти модулей: локального генератора (PXI-1450В), преселектора/аттенуатора (PXI-1410) и собственно модулей понижающего преобразования РЧ, ПЧ и СВЧ (PXI-1430В, PXI-1440 и PXI-1420 соответственно), краткие сведения о которых приведены в таблице 5. В широкий диапазон применений понижающих преобразователей этого семейства входят измерительные приборы, осуществляющие спектральный анализ, анализ во временной области и анализ модуляции; портативные и высокоомобильные тестовые системы; системы радиотехнической разведки; гибридные тестовые системы в формате PXI, VXI, GBIB и LXI; встроенные тестовые системы, например для мониторинга и диагностики работоспособности.

Модули могут конфигурироваться семью способами для охвата диапазонов 100 кГц – 2,9 ГГц, 2,7–26,5 ГГц и 100 кГц – 26,5 ГГц. Пользователи могут программировать модули (рис. 9) для анализа РЧ- или СВЧ-сигналов или эмулировать (имитировать) устаревшие приборы при работе в сочетании с цифровыми преобразователями и контроллерами PXI или PXI Express и программным обеспечением цифровой обработки сигналов (DSP).

Понижающий преобразователь частоты NI PXI-5600 на 2,7 ГГц от компании National Instruments представляет собой широкополосное устройство в компактном модуле 3U PXI, предназначенное для векторных РЧ-измерений (рис. 10). Преобразователь имеет широкую полосу пропускания в режиме реального времени, высокостабильную

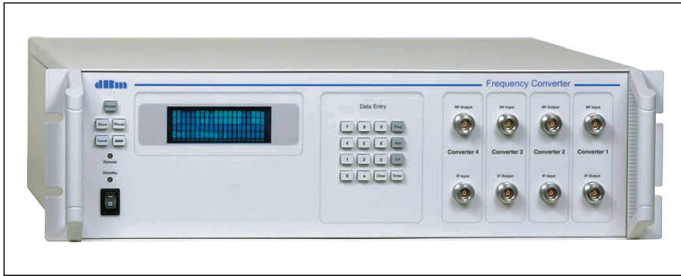


Рис. 11. Преобразователь частот серии UDC компании dBm

точников ошибок везде, где это возможно. По заявлению компании dBm, именно эта цель ставилась при создании серии преобразователей частоты UDC, выполненных в виде приборов. Повышающие и понижающие преобразователи осуществляют широкополосное преобразование частоты с низким уровнем искажений, обладают высоким динамическим диапазоном и малым уровнем фазовых шумов.

Центральную частоту канала преобразования можно запрограммировать. При необходимости допускается регулирование затухания каждого канала. Работой компонента можно управлять с передней панели или дистанционно с помощью интерфейсов LAN либо GPIB. Компания dBm предлагает широкий спектр ПЧ-преобразователей, которые можно настроить для работы в конкретных приложениях заказчика. Преобразователи серии UDC идеально подходят для расширения диапазона рабочей частоты тестовых эмуляторов многолучевого замирания беспроводных локальных сетей IEEE 802.11.

Модели преобразователей частоты компании dBm охватывают практически любую полосу до 30 ГГц. Они выпускаются в виде блочных преобразователей, широкополосных преобразователей с синтезаторами частот и преобразователей ПЧ-сигнал/бейсбэнд-сигнал (рис. 11). Мгновенная ширина полосы частот обычно составляет 125 МГц в обоих направлениях преобразования. Стандартные полосы рабочих частот: 800–2700 МГц; 870–1750 МГц; сверхширокополосная: 0,4–18 ГГц при использовании ПЧ = 70 или 140 МГц. В состав прибора может входить до восьми преобразователей, смонтированных на общем шасси. Типовой шаг настройки составляет 1 МГц. Преобразователи с повышением частоты работают в диапазонах L, C, S, Ku или Ka.

Автономные устройства (Stand Alone)

Функционально законченные подсистемы преобразования частот очень часто выполняются в виде автономных блоков (Stand Alone) со встроенным интерфейсом, предназначенных для настольной или напольной установки в отдельном полном корпусе (full casing) или шкафу (cabinet). Идентичные модели могут конструктивно выполняться и как автономные, и как монтируемые в стойку блоки, которые рассматриваются далее.

Компания WORK Microwave предлагает 14 моделей ПЧ с повышением и понижением частоты для спутниковых систем. Выпускаемые компанией преобразователи СВЧ с понижением частоты предназначены для поддержки самого широкого ряда приложений. Благодаря усовершенствованной конструкции синтезатора с малым уровнем шума преобразователи с понижением частоты используются для приема сигналов СВЧ-диапазона и выдачи выходного сигнала в диапазонах ПЧ 70/140/720 МГц или в L-диапазоне с очень высокими спектральными характеристиками.

При применении генераторов общего пользования в многоканальных устройствах понижающие преобразователи компании WORK Microwave можно задействовать в системах, где требуется точная фазовая взаимосвязь между каналами, например в системах отслеживания моноимпульсов для наиболее полного удовлетворения требований современных операторов спутниковых систем.



Рис. 12. Типовое конструктивное исполнение спутниковых преобразователей от компании WORK Microwave для использования вне помещений

Компания WORK Microwave предлагает надежное оборудование спутниковой связи в разных корпусах для наружного монтажа (Outdoor Frequency Converters), которое можно использовать в любых погодных условиях (рис. 12). Устройства эксплуатируются в диапазоне температуры $-40 \dots +60$ °C. В нерабочем режиме они выдерживают температуры $-50 \dots +80$ °C, не повреждаясь. Соответствующие 19-дюймовым стойкам, преобразователи отвечают требованиям современных приложений спутниковых систем, например для ТВ-каналов и высокоскоростных сетей передачи данных. Благодаря своей прочной конструкции и низкому энергопотреблению они идеально подходят для стационарных наземных станций спутниковой связи, транспортных средств спутниковой видеожурналистики SNG (satellite newsgathering) и взлетно-посадочных полос.

Такие блоки наилучшим образом подходят для установки непосредственно на антенне. Они не требуют дополнительной защиты от воды. Корпус обеспечивает защиту от окружающей среды в соответствии с индексом класса защиты IP67 (появление временного конденсата), когда все кабели подключены и герметично закрыты (стандарт IEC 529). Специальные защитные втулки для коаксиальных соединителей обеспечивают оптимальную герметизацию от корпуса до кабеля. Корпус должен быть установлен стороной соединителей (разъемов) вниз. Как вариант, панель соединителей может находиться в вертикальном положении.

Преобразователи выпускаются в корпусах трех размеров:

- 1) малом (small housing) — $322 \times 108 \times 391$ мм;
- 2) большом (large housing) — $402 \times 111 \times 391$ мм;
- 3) размера XL (XL housing) — $412 \times 74 \times 515$ мм.

Выпускаемые компанией WORK Microwave спутниковые преобразователи вверх/вниз по частоте (Block Up- and Downconverter) серий VNBUL-/VSBUL-/VNBUR-/VSBUR-/VNBUL-/VNBUL- с использованием в качестве ПЧ L-диапазона (950–2150 МГц) могут использоваться в S-, C-, X-, Ku-, K- (DBS), Ka-диапазонах. Устройства для Q-диапазона изготавливаются по запросу заказчика. В таких преобразователях, выпускаемых в т. ч. для установки внутри и вне помещений, применяется гетеродин с фиксированной частотой.

Преобразователи предлагаются в одно-, двух- и трехдиапазонных вариантах и могут быть одно- и двухканальными. Выпускаются преобразователи трех типов для установки внутри помещений:

- VSBUL* Type — управление устройством с передней панели;
- VSBUL* Type — управление аттенуатором с передней панели;
- VSBUR* Type — только удаленное управление.

Резервируемыми блоками преобразователей (Redundant Block Converter) L-диапазона (950–2150 МГц) ПЧ являются интегрируемые в один корпус понижающие преобразователи частоты S-, C-, X-, Ku-, K- (DBS)-диапазонов с полным резервированием конфигурации (рис. 13).

Блок преобразователя с резервированием от компании WORK Microwave сочетает в себе систему резервного переключения и два



Рис. 13. Конструктивное исполнение выпускаемых компанией WORK Microwave синтезаторных преобразователей с понижением для установки внутри и снаружи помещений

Таблица 6. Повышающие преобразователи ВУС компании Comtech Xicom Technology

Модель	Диапазон	Р _{вх/вых} , дБм	Вес, кг
XTSLIN-20X-B1	X-диапазон	43	2,4
XTS-50X-B1	X-диапазон	47	4,5
XTSLIN-50X-B1	X-диапазон	47	4,5
XTS-25K-B1	Ku-диапазон	45	6,8
XTS-40K-B1	Ku-диапазон	46	6,8
XTS-40KHE-B1	Ku-диапазон	46	4,5
XTS-20KaL-B1	Ka-диапазон	43	8,2

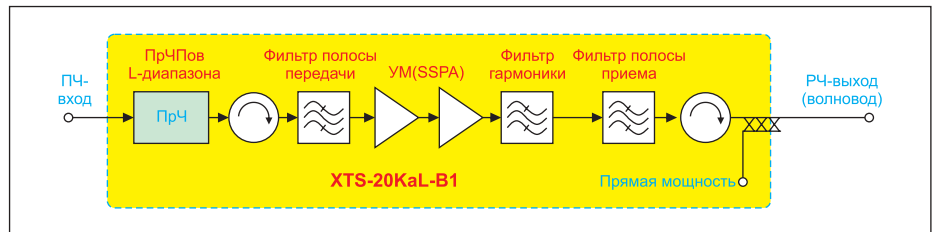


Рис. 14. Структура преобразователя XTS-20KaL-B1 от компании Comtech Xicom

блока преобразователей в одном компоненте, позволяющих при их использовании увеличить эффективность операторов и уменьшить стоимость оборудования. Коммутируемая система резервирования содержит коаксиальный делитель входного сигнала и коаксиальный переключатель выходного сигнала. Система может работать в автоматическом режиме, причем выполняется автоматическое переключение при обнаружении сигнала тревоги, сгенерированного активным блоком. Кроме того, инициируется ручное переключение резервного блока.

Выпускаемые компанией Comtech Xicom Technology высокопроизводительные блоки повышающих преобразователей ВУС XTS-20KaL-B1 представляют собой серию компактных, полностью интегрированных антенных блоков для долговременной эксплуатации с низкими затратами. Входной сигнал L-диапазона можно получить от стандартных модемов, работающих в диапазоне 1–2 ГГц. Компания разработала семь моделей блоков ВУС, основные сведения о которых приведены в таблице 6.

Преобразователь XTS-20KaL-B1, структура и внешний вид которого в качестве примера показаны на рис. 14, 15, предназначен для использования вне помещений; его применение не требует использования отдельного укрытия. Конструкция и малый вес позволяют устанавливать ПрЧ непосредственно на антенну, что исключает применение длинных волноводных участков и связанных с ними РЧ-потерь.

В конструкции реализовано принудительное воздушное охлаждение, обеспечивающее надежную работу в расширенном температурном диапазоне. Интерфейс мони-

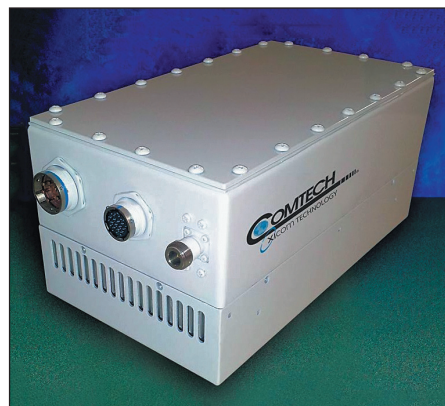


Рис. 15. Конструкция преобразователя XTS-20KaL-B1 от компании Comtech Xicom

торинга и управления (monitor and control, M&C) обеспечивает надежное наблюдение за состоянием системы. Блок повышающего преобразователя частоты работает

от внешнего системного источника питания. Передаваемый сигнал L-диапазона и опорная частота 10 МГц передаются на преобразователь по общей коаксиальной линии.

Монтируемые в стойку устройства (Rack Mount Cases)

Монтируемые в стойку устройства (Rack Mount Cases), как правило, для установки на рабочие места оснащены рельсовыми направляющими (rail guides), фланцами или вкладками (tabs). Чаще всего такие устройства помещаются в стандартную 19-дюймовую телекоммуникационную стойку (19" telecommunications rack).

В преобразователях частоты от компании Elcom используется усовершенствованная архитектура. В синтезаторе на основе ФАПЧ в этой архитектуре применяется цифровой вычислительный синтезатор (DDS). Перестраиваемый гетеродин характеризуется

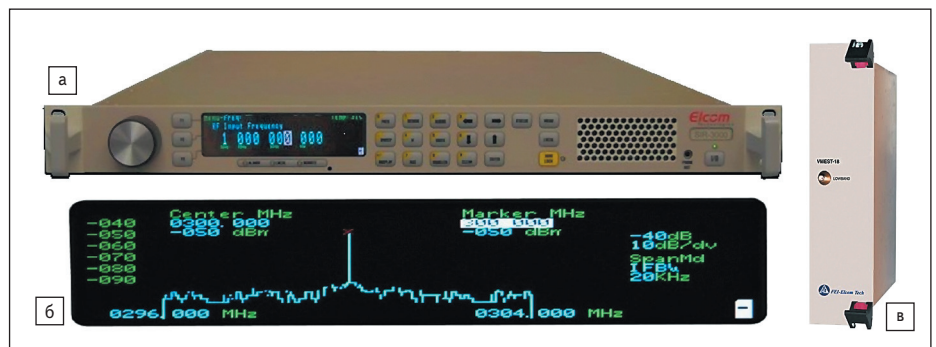


Рис. 16. а) Внешний вид преобразователя SIDC-5000 Series V/UHF компании FEI-Elcom Tech; б) вид дисплея модели SIDC-5007 с отображением спектра; в) широкополосный СВЧ-преобразователь с понижением VMEST

Таблица 7. Преобразователи частоты от компании FEI-Elcom Tech

Модель	Описание	$f_{рч}$	$f_{пч}$	Применение
SIDC-5000	Быстродействующий СВЧ ПрЧПон/тuner с большим ДД	0,02–3 ГГц; с шагом 10 ГГц	10,7–160 МГц (полоса ПЧ: 1–40 МГц)	Очень широкое
SIDC-6000	СВЧ ПрЧПон/тuner с большим ДД	0,5–26,5 ГГц; 10-Гц разрешение по частоте	1,2 ГГц с фикс. полосой 500 МГц; 70 МГц с переключаемой полосой 10, 20, 30 и 40 МГц	Очень широкое
SATDC-1000	ПрЧПон Ка-диапазона с ПЦС (DDS)	17,7–21,2; 10-Гц разрешение по частоте	ПЧ-выход 70 МГц с полосой 40 МГц; 700 МГц (L-диапазон) с полосой 250 МГц	SATCOM, радиоразведка (ELINT), приемники предупреждения о радиолокационном облучении (RWWR)
SATDC-3000	Многодиапазонный ПрПон с тройным преобразованием	3–9 ГГц, 1-кГц разрешение по частоте	70 МГц с полосой ± 20 МГц	SATCOM
VMEST	Широкополосный СВЧ ПрЧПон/тuner	Диапазон 1: 50–2000 МГц, диапазон 2: 2–18 ГГц (10-Гц шаг настройки)	50–2000 МГц	Радиоразведка (SIGINT), РЭБ (EW), тестирование, COMINT, радиоразведка (ELINT)
SATUC-2000	ПрПов Ка-диапазона	27,5–31	ПЧ-выход 70 МГц с полосой 40 МГц; 700 МГц (L-диапазон) с полосой 250 МГц	SATCOM, радиоразведка (ELINT), приемники предупреждения о радиолокационном облучении (RWWR)
SATUC-4000	ПрПов с тройным преобразованием и большим ДД	3–9	70 МГц ± 20 МГц	SATCOM

Примечание. BW — рабочая полоса частот

малым фазовым шумом, высокой скоростью настройки, низким уровнем паразитных составляющих и малым шагом перестройки. Преобразователи частоты можно запрограммировать удаленно через интерфейс Ethernet или вручную с помощью клавиатуры на передней панели с поворотной ручкой. Основные сведения о преобразователях, конструктивно выполненных в монтируемых в стойку корпусах (рис. 16), приведены в таблице 7.

Компания PIVC, LLC является производственным подразделением корпорации Technology Service Corporation. PIVC разрабатывает СВЧ-компоненты для самых разных заказчиков. Предлагаемые компанией преобразователи частоты можно адаптировать под индивидуальные требования заказчика. При этом можно выбрать стандартные или пользовательские рабочие частоты, варианты соединителей и корпуса, например устойчивые к атмосферным воздействиям и давлению.

Компания предлагает преобразователи частоты с понижением следующих нескольких серий.

Преобразователи VHF серии DCEVHF

Блоки преобразователей DCEVHF обычно используются как конечные каскады в тракте приема (рис. 17). Они служат средством для перевода стандартных УКВ-частот на общую РЧ. В этом классе имеется несколько вариантов устройств, отличающихся функционально и параметрами. Выходы ПЧ подходят для непосредственного аналого-цифрового преобразования и видеопереработки.

Преобразователи UHF/L/S серии DCEUHF/DCEL/DCES

Эти преобразователи используются в коммуникационных приложениях. Имеются разные опции настройки устройства для конкретной пользовательской системы. Компания производит многоканальные версии этих устройств, позволяющие задействовать одну антенну и общий фидер. Выходы ПЧ подходят для видеопереработки и высокоскоростных АЦП, а также для ввода дополнительных частотных преобразований, для чего наилучшим образом годится серия DCEVHF.

Преобразователи X-диапазона серии DCEX

Серия DCEX очень популярна в радиолокации, причем доступно несколько вариантов. Их основное использование — входной РЧ-блок (front end) тракта с преобразованием вниз, но преобразователи также могут использоваться как промежуточный каскад тракта. Как и в серии DCEKU, характеристики усилителя могут адаптироваться под требования пользователя. Объединение сборки с перестраиваемым гетеродином обеспечивает использование постоянной ПЧ в перестраиваемой по частоте системе. Быстрое переключение аттенуаторов обеспечивает постоянство коэффициента усиления во всем рабочем диапазоне. Выходные ПЧ-сигналы этих блоков можно дополнительно преобразовать по частоте с помощью ПрЧ серий DCEUHF, DCEL или DCES.

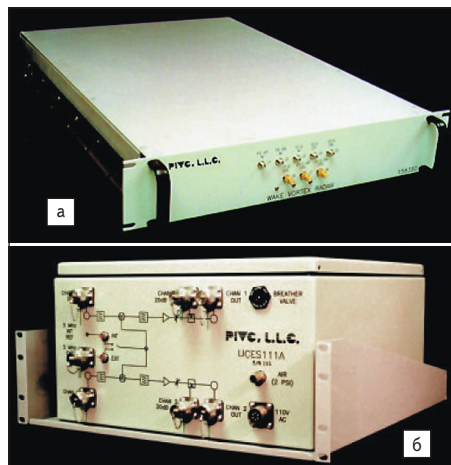


Рис. 17. Преобразователи от компании PIVC: а) понижающие ПрЧ серии VHF; б) повышающие ПрЧ серии UHF/L/S

Преобразователи Ku-диапазона серии DCEKU

Понижающие преобразователи Ku-диапазона этой серии используются в качестве входных РЧ-блоков или вторых ступеней трактов приема. Во входных РЧ-блоках доступны МШУ с разными характеристиками. Модульная конструкция позволяет в соответствии с требованиями пользователя оптимизировать устройства для ПЧ в X- или S-диапазоне. Кроме того, предлагаются модели с регулируемым усилением. Выход ПЧ предназначен для непосредственного взаимодействия с модулями DCEX или DCES.

Преобразователи Ka-диапазона DCEKA

Эти повышающие преобразователи с расширенным динамическим диапазоном обеспечивают высокое качество сигнала. Внутренние малошумящие усилители, которые обладают коэффициентом шума 5 дБ, позволяют использовать преобразователи в качестве входных РЧ-блоков для многих видов приемников. Узлы Ku-диапазона обычно не используются в оконечных каскадах, но дополняются последующими ступенями преобразования, например модулями преобразования DCEKU.

Компания PIVC предлагает преобразователи частоты с повышением следующих пяти серий.

УКВ-серия UCEVHF

Преобразователи UCEVHF обычно используются в качестве первого каскада в тракте повышающего преобразования или в качестве отдельного узла передатчика. РЧ-выход можно оптимизировать для конкретного тракта передачи путем выбора модели с разными характеристиками мощности и усиления. В качестве первого этапа в цепи преобразования сигнала этот ПрЧ легко настраивается для установки в существующие системы. ПрЧ серий UCEUHF, UCEL и UCES могут использовать выходной РЧ-сигнал этой серии для дальнейшего преобразования по частоте.

Серии UBЧ/L/C UCEUHF/UCEL/UCES

Эти устройства применяются в коммерческих приложениях. Модульная конструкция позволяет использовать ПрЧ этой серии в качестве усилителя мощности или промежуточной ступени преобразования. Преобразователи могут соединяться с перестраиваемым гетеродином для телеметрических приложений. Выходной РЧ-сигнал этих блоков можно дополнительно преобразовать по частоте с помощью компонентов серии UCEX или UCEKU.

Серия X-диапазона UCEX

ПрЧ серии UCEX широко используются в радиолокационных приложениях. В качестве заключительного каскада перед переда-

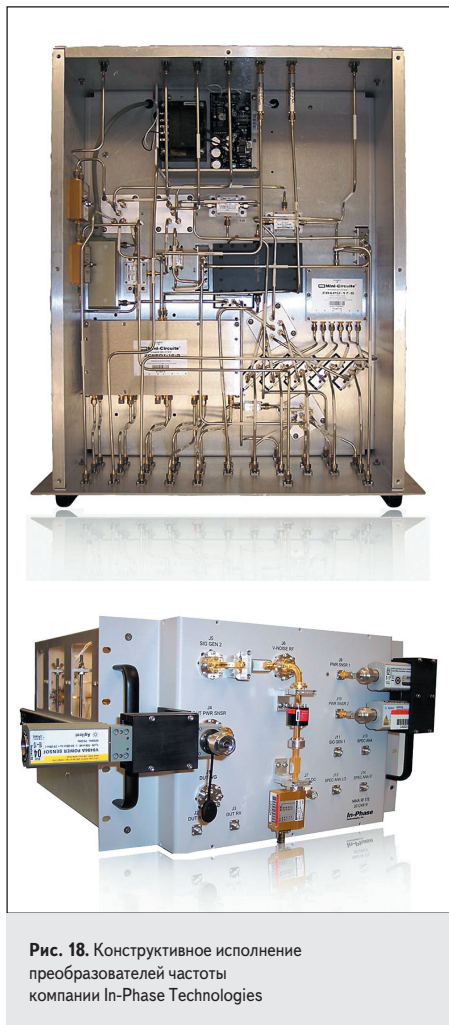


Рис. 18. Конструктивное исполнение преобразователей частоты компании In-Phase Technologies

чей или в качестве промежуточного каскада устройства обеспечивают преобразование частот UHF-, L-, S-диапазонов в X-диапазон. Устройства могут дополняться регулируемым усилением, возможностью выбора выхода или несколькими другими функциями. Выходной сигнал РЧ этих блоков подходит для перевода на более высокие частоты с использованием серии UCEKU.

Серия Ku-диапазона UCEKU

Эти повышающие ПрЧ предназначены для преобразования сигналов S- и X-диапазонов в Ku-диапазон частот. Серия UCEKU использовалась в РЛС высокой разрешающей способности. РЧ-вывод этих устройств подходит для ввода в серии UCEKA.

Серия Ka-диапазона UCEKA

Эти устройства обычно используются в радиолокационных системах высокого разрешения. Серия преобразователей UCEKA обеспечивает перевод частот Ku-диапазона в Ka-диапазон. РЧ-выход этих повышающих преобразователей подходит для подачи сигнала на мощный твердотельный усилитель или лампы бегущей волны.

Компания In-Phase Technologies является одним из ведущих поставщиков аналоговых, цифровых, ВЧ/СВЧ- и волоконно-оптических систем, применяемых для проверки производительности приложений, узлов и компонентов. Автоматизированные системы этой компании полностью настраиваются в соответствии с требованиями заказчика. Стандартная линейка частотных преобразователей компании In-Phase Technologies включает в себя модели, которые работают на частотах до 60 ГГц (рис. 18). В дополнение к стандартным предложениям предлагаются многие пользовательские варианты. Производитель предлагает также серию преобразователей радиочастотного сигнала в оптический (RF-to-optical), которые позволяют отправлять ВЧ- и СВЧ-сигналы по оптоволоконным кабелям.

Компания Syntonic Microwave предлагает широкий ряд микроволновых преобразователей частоты, включая повышающие преобразователи, понижающие преобразователи и двунаправленные преобразователи вверх/вниз. Каждый прибор разработан с использованием широкого ряда опций, доступных пользователю во время заказа, чтобы обеспечить максимально точное соответствие решений компании этим требованиям. Устройства выполняются в монтируемых в стойку корпусах, внешний вид которых показан на рис. 19. При необходимости использовать более компактные устройства преобразователи выполняются в настольном варианте (1/2 Rack benchtop chassis).

В особую группу изделий можно выделить выпускаемые компанией Syntonic Microwave преобразователи ПЧ-ПЧ (IF-to-IF Converters), предназначенные для решения т. н. «проблем ПЧ» (IF problem-solver). В серии IFAT таких ПрЧ входят преобразователи частот с повышением и с понижением, которые могут к тому же изменять ширину рабочей полосы обрабатываемого сигнала.

Таблица 8. Преобразователи ПЧ-ПЧ (IF-to-IF) от компании Syntonic Microwave

Модель	f _{вх} , МГц	f _{вых} , МГц	Число и величина рабочих полос (BW), МГц
Частоты <160 МГц			
IFAT-1000	1–160 МГц	1–160 МГц	9 BW: 0,1–40 МГц
Частоты <2 ГГц			
IFAT-2000	50–2000 МГц	50–2000 МГц	5 BW: 50–1000 МГц
IFAT-2200	10–2000 МГц	10–2000 МГц	8 BW: 10–1000 МГц
IFAT-2400	1–2000 МГц	1–2000 МГц	13 BW: 0,1 МГц – 1 ГГц
Частоты <8 ГГц			
IFAT-8000	50 МГц – 8 ГГц	50 МГц – 8 ГГц	5 BW: 50 МГц – 1 ГГц
IFAT-8400	1 МГц – 8 ГГц	1 МГц – 8 ГГц	13 BW: 0,1 МГц – 1 ГГц
ББ (baseband) — до ПЧ			
IFBT-16M	ББ (baseband)	70 МГц	2, 4, 8, 16, 36 МГц

В настоящее время место преобразователей аналоговых РЧ-сигналов в цифровые сигналы в ряде приложений заняли более современные АЦП, или, как их еще принято называть, дигитайзеры (digitizers). Традиционные преобразователи частоты имеют фиксированную ПЧ, но для достижения наилучших результатов современные широкополосные дигитайзеры требуют большей гибкости ввода. Линейка продуктов IFAT от компании Syntonic решает эту проблему, предоставляя устройства преобразования, которые удовлетворяют разным запросам потребителей (табл. 8). При их использовании можно задать новые значения ПЧ вплоть до 8 ГГц, преобразовать рабочие полосы пропускания до 1 ГГц, чтобы дать используемому дигитайзеру необходимый сигнал. Таким образом, преобразователи IFAT компании Syntonic Microwave применяются для создания мостов трансляции между устройствами с разными ПЧ, позволяя использовать имеющийся дигитайзер в полной мере.

Пользовательский интерфейс преобразователя прост: необходимо установить входную ПЧ и усиление, выбрать желаемую выходную частоту и уровень сигнала для входа в оборудование. Наконец, устанавливается ширина полосы пропускания, необходимая для преобразования сигнала, — полоса выходного сигнала. Выбор частоты универсален, и IFAT может повышать на более высокую ПЧ и преобразовывать его вниз на более низкую ПЧ. Необходимые диапазоны входных и выходных частот можно указать при заказе преобразователя. Они могут не совпадать — потребитель выбирает диапазон ввода, например до 8 ГГц, и диапазон выходного сигнала, скажем, до 2 ГГц.



Рис. 19. Варианты корпусирования ПрЧ от компании Syntonic Microwave

IFAT-8400 представляет собой универсальный двунаправленный преобразователь на 8 ГГц. Входные и выходные частоты находятся в диапазоне 1 МГц – 8 ГГц, что предоставляет пользователям беспрецедентный контроль и неограниченные возможности для реализации широкого ряда сценариев преобразования частоты. Микроволновый банк фильтров с переключением обеспечивает до 13 выбираемых пользователем разных полос пропускания в диапазоне 0,1 МГц – 1 ГГц.

Для расширения диапазона рабочей частоты производитель предлагает серию блоков преобразователей (Block Converter), которые предназначены для подключения ко входу IFAT-8400. Эти преобразователи серии BDC предлагаются для любой частоты до 40 ГГц и конфигурируемой пользователем полосы частот от 500 МГц (или менее) до 6 ГГц. С блоком BW с полосой 6 ГГц любую часть спектра можно преобразовать в диапазон частот 8 ГГц IFAT-8400 для расширения частоты.

Волноводные преобразователи

В стандартных корпусах СВЧ-компонентов вместо коаксиальных (резьбовых) соединителей могут применяться волноводные соединители WR-42, WR-28, WR-22 и WR-19. Многие компании-производители используют не только стандартные волноводы, но и выполненные по техническим требованиям заказчика.

Компания Millitech предлагает однополосные и двухполосные модели преобразователей частоты с повышением и выходными фильтрами серии MUP в семи волноводных вариантах с частотой 18–110 ГГц. Работа в режиме одной боковой полосы ОБП (SSB) достигается за счет включения на выходе фильтра, чтобы подавить нежелательную боковую полосу. Преобразователи имеют низкие потери преобразования и высокую выходную мощность величиной, как правило, +3 дБм в режиме одной боковой полосы с учетом режекторного фильтра. Уровень 0 дБм выходного ОБП-сигнала можно получить, если использовать сигнал ПЧ мощностью 10 дБм и сигнал гетеродина 17 дБм. Неравномерность преобразования $\pm(1-2)$ дБ

является типовой в зависимости от рабочей полосы частот. Преобразователь имеет малые потери преобразования в диапазоне 6–10 дБ, которые определяются уровнями мощности сигналов РЧ и гетеродина.

Компания Pasternack выпустила модели волноводных преобразователей, которые охватывают полные диапазоны Ka, Q, U, V, E и W, — по шесть преобразователей с понижением и повышением частоты. В конструкции используются высокоэффективные GaAs-диоды с барьером Шоттки в балансной конфигурации, для которых требуется сигнал гетеродина с уровнем +13 дБм. Используемые схемотехнические решения обеспечивают малый уровень потерь преобразования.

Эти волноводные смесители работают с частотами РЧ и гетеродина в диапазоне 26,5–110 ГГц при ПЧ-полосе 0–18 ГГц. В зависимости от модели потери преобразования составляют 6–9 дБ при типовом значении развязки РЧ-гетеродина 20 дБ. Максимальная ВЧ-мощность входного сигнала равна +5 дБм, и характеристики определяются в диапазоне рабочей температуры 0...+50 °С. Для обеспечения высокой надежности преобразователи помещаются в прочный позолоченный термически стабильный корпус, который имеет компактные размеры, интегрируется с волноводами размерами WR-28–WR-WR-10.

Повышающие ПрЧ серии FUB от компании Docomm в волноводном исполнении позволяют реализовать радиооборудование в полной волноводной полосе частот 18–110 ГГц. Прежде уже упоминавшиеся балансные повышающие ПрЧ с субгармонической накачкой серии FUS от компании Docomm также реализуются в волноводных вариантах.

Компания Sage Millimeter предлагает 12 моделей балансных ПрЧ с повышением серии SFU, выполненных на основе смесителей с GaAs-диодами Шоттки. Эти преобразователи предлагаются в семи общих полосах частот волновода, чтобы охватить диапазон частоты 18–110 ГГц. В моделях используются широкополосные схемы и балансные структуры, что уменьшает потери преобразования и гармонические составляющие в полном волноводном диапазоне и обеспечивает очень широ-

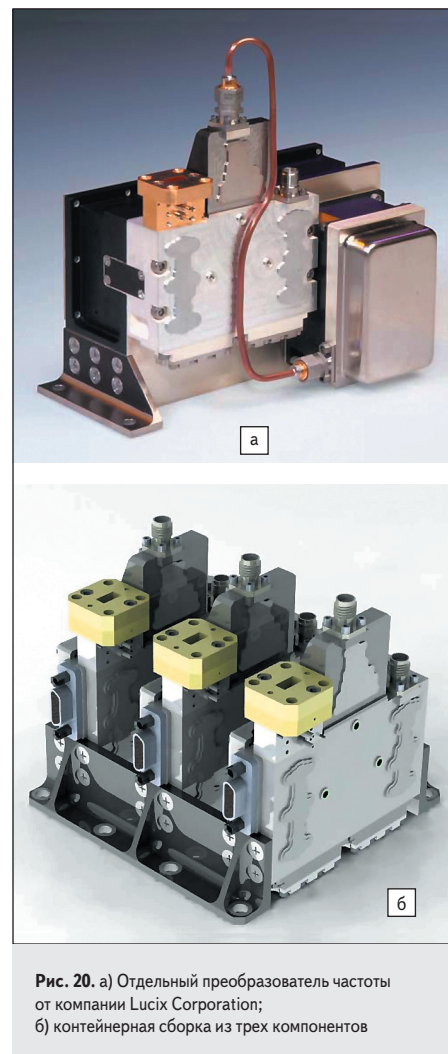


Рис. 20. а) Отдельный преобразователь частоты от компании Lucix Corporation; б) контейнерная сборка из трех компонентов

кую полосу ПЧ. Варианты с внешним смещением предназначены для использования только при малой мощности гетеродина, доступной в верхних волноводных диапазонах. В то время когда модели каталога обеспечивают более широкую пропускную способность для наиболее востребованных приложений, специально созданные пользовательские модели оптимизированы под потребности конкретных приложений клиентов.

В волноводном исполнении компания Spacek Labs предлагает 11 моделей уже упомянутых однополосных преобразователей, а компания QuinStar — серию QMU таких ПрЧ в семи волноводных полосах для диапазона частот 18–110 ГГц.

Ряд ПрЧ с повышением и понижением частоты для космического применения предлагает компания Lucix Corporation. Компоненты могут применяться в Ka-диапазоне на частотах 27,5–31 ГГц, а также в C-, Ku-диапазонах. Преобразователи можно использовать как отдельные компоненты (Stand-Alone), так и в контейнерной сборке (Multi-Pack) с несколькими такими компонентами (рис. 20). Преобразователи имеют необходимые волновые фланцы WR34, WR28 и РЧ-соединители 2,92 мм.