

# MINICIRCUITS – НАДЕЖНЫЙ ПОСТАВЩИК МИКРОВОЛНОВЫХ КОМПОНЕНТОВ

## ПРОФИЛЬ КОРПОРАЦИИ\*

Корпорация Scientific Components, более известная под торговой маркой Mini-Circuits [2], основана в 1969 году Харвеем Кейли (Harvey Kaylie), который и сейчас остается её президентом. Деятельность корпорации на мировом рынке электронных компонентов всегда была успешной и динамичной, а ее президента несколько лет назад признали бизнесменом года в США. Формула успеха изделий Mini-Circuits: "Производить качественные изделия, продавать их по конкурентоспособной цене и быстро поставлять". Стратегию на будущее фирма видит "в поиске новых, революционных, путей решения задач улучшения характеристик, уменьшения размеров компонентов беспроводных систем и в установке высоких стандартов через инновации, обслуживание и качество". Корпорация стремится к мировому лидерству в разработке, производстве и массовой поставке высокочастотных и сверхвысокочастотных электронных компонентов гражданского и военного назначения. Кроме восьми подразделений в США, где она сотрудничает с компанией Peregrine Semiconductor, фирма имеет отделения в Великобритании, Израиле, Индии, Китае, Малайзии и на Тайване.

Корпорация Mini-Circuits разрабатывает и поставляет электронные компоненты для частотного диапазона от постоянного тока до 20 ГГц, в том числе управляемые по частоте генераторы, смесители, усилители мощности, модуляторы/демодуляторы фазы и амплитуды. Среди продукции компании можно выделить такие конкурентоспособные, а во многих случаях лучшие на мировом рынке по соотношению цена/качество изделия, как умножители частоты, фазовые дискриминаторы, цифровые и аналоговые аттенюаторы, фазовращатели, сумматоры/разветвители мощности, частотные фильтры, высокочастотные трансформаторы, направленные ответвители, кабельные соединители, переключатели и многие другие.

\* Статья продолжает серию публикаций, характеризующих мировые фирмы-производители электронных компонентов [1]. Надеемся, что такой аспект изучения их продукции будет полезен не только для конкретных разработчиков аппаратуры, но также для возможных инвесторов и организаторов бизнеса в этой сфере.

Л. Белов



Значительная часть продукции корпорации относится к категории высококачественных и недорогих изделий с фирменным знаком Blue Cell™, выполненных по запатентованной в США технологии LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramic) – низкотемпературного (около 850°C) обжига многослойной керамики с печатным монтажом из золота и серебра (рис.1). Эта технология позволяет создавать стойкие к разнообразным внешним воздействиям, недорогие и пригодные для военных применений изделия. Высокое качество выпускаемых корпорацией электронных компонентов военного назначения, удовлетворяющих жестким требованиям стандартов США, обеспечивают развернутые корпорацией лаборатории климатических и механических испытаний, прецизионной техники шумовых измерений.

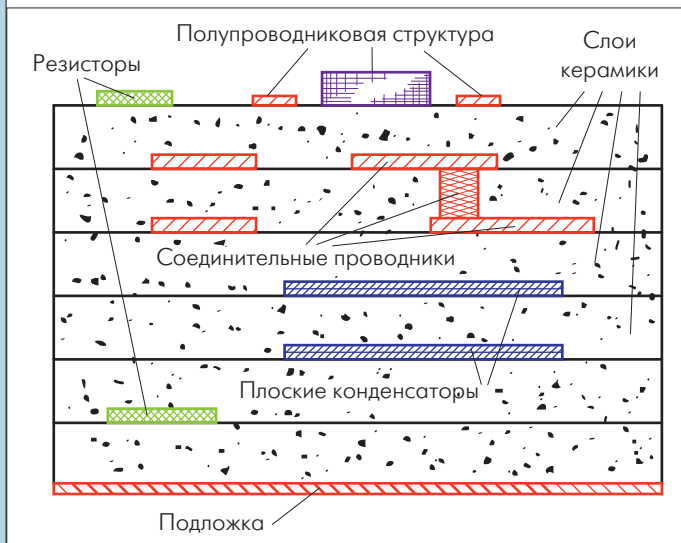


Рис.1. Типовая многослойная LTCC-структура Blue Cell™

Корпорация, помимо прямых консультаций по электронной почте и телефону, оказывает потребителям своей продукции существенную сервисную поддержку в виде свободно распространяемых "Технических руководств разработчика" с фундаментальными материалами по методам измерений параметров и применениям, а также предоставляет через Интернет расширенную базу измеренных S-параметров большинства моделей.

Рассмотрим характеристики основных классов изделий, разработанных и выпускаемых корпорацией Mini-Circuits, обращая внимание, главным образом, на новую продукцию.

### ГЕНЕРАТОРЫ, УПРАВЛЯЕМЫЕ НАПЯЖЕНИЕМ

Генераторы, управляемые напряжением (ГУН), – это сложные изделия, качество которых определяют такие параметры [3], как

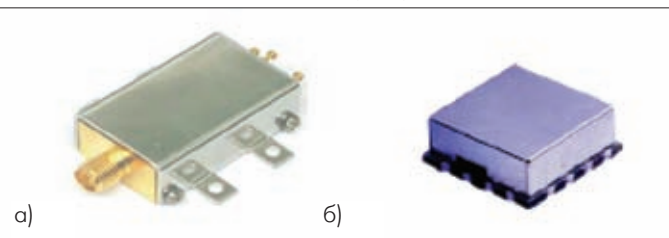


выходная мощность в заданном диапазоне частот; линейность, глубина и скорость перестройки частоты; уровень высших гармоник; значение паразитных вариаций фазы при разных отстройках по отношению к несущей частоте; вариация частоты при изменениях температуры окружающей среды, импеданса нагрузки, напряжения питания и др.

Среди более тысячи моделей ГУН корпорации Mini-Circuits (схемы многих из них запатентованы) выделяются группы изделий, параметры которых оптимизированы для достижения или высокой **линейности** перестройки, или расширенного **диапазона перестройки**, или малого уровня собственного **шума**. В отдельную группу выделены генераторы, предназначенные для работы в составе **синтезаторов** сетки частот и **ГУН с двумя выходами** (табл.1).

В классе изделий с двумя выходами можно отметить генераторы серии ZOS, в состав которых входят выходной усилитель с низкой чувствительностью к вариациям импеданса нагрузки и ответвитель, формирующий основной и дополнительный выходы. Например, коэффициент затягивания частоты генератора ZOS-1025 при вариациях фазы и импеданса нагрузки на выходе 12-дБ ослабителя не превышает 51 кГц в диапазоне перестройки по частоте 0,68–1,02 ГГц. Модель ZX95-2500 (рис.2а) разработана для линейной перестройки частоты в интервале 1,6–2,5 ГГц с вариациями крутизны управления частотой по диапазону не более  $\pm 19\%$  и с низкой чувствительностью к изменениям напряжения питания (не более 2 МГц/В). Мощность предназначенной для поверхностного монтажа модели ROS-3000V (размер 12,7x12,7x4,6 мм) (рис.2б) составляет 9 дБмВт (мощность, выраженная в дБмВт, равна десятичному логарифму отношения выходной мощности к мощности 1 мВт), перестройка частоты – от 2,4 до 3 ГГц с изменениями крутизны управления 20–60 МГц/В при уровне фазового

шума -136 дБ/Гц. Наивысшая модулирующая частота ГУН этой модели – 20 МГц, потребляемый ток при напряжении источника питания +5 В не превышает 40 мА. Модель ROS-1600W, также собранная в корпус для поверхностного монтажа, отличается расширенной до 90 МГц полосой модулирующих частот.



**Рис. 2. Управляемые напряжением генераторы ZX95-2500 (а) и ROS-3000V (б)**

Интерес представляют ГУН с перестройкой частоты в пределах октавы (серия POS) с достаточно низким уровнем фазового шума, достигающим -137 дБ/Гц на частоте 0,8 ГГц при отстройке на 10 МГц.

Модели серий JTOS, MOS, POS, ROS, отмеченные дополнительным символом Р, предназначены для синтезаторов стабильных частот с фазовой автоподстройкой: их управляющее частотой напряжение не превосходит +5 В, а диапазон изменения чувствительности по управлению в диапазоне частот перестройки снижен. Ряд моделей отличаются пониженным уровнем фазового шума: например, собственный фазовый шум ГУН типа POSA-158 в интервале частот 0,13–0,16 ГГц составляет -100 дБ/Гц при отстройке на 1 кГц, -125 дБ/Гц при отстройке на 10 кГц и -163 дБ/Гц при отстройке на 1 МГц. Типовой интервал рабочих температур, в котором гарантированы приводимые значения параметров, составляет -55...85°С.

**Таблица 1. Параметры ГУН**

Модель	Особенность	Диапазон перестройки, ГГц	Выходная мощность, дБмВт	Фаз. шум, дБ/Гц (отстройка 1 МГц)	Крутизна перестройки, МГц/В	Полоса частот модуляции, МГц	Уровень гармоник, дБ	Электропитание
POS-400A	ЛП	0,97–1,4	13	-135	25–30	4	-16	8 В x 30 мА
POS-2120W	ШП	1,1–2,2	8	-137	35–120	4	-11	8 В x 30 мА
ROS-1600W	ЛП, ПМ	0,8–1,6	9	-143	35–58	90	-22	12 В x 35 мА
ROS2150W	ШП, ПМ	0,97–2,15	4	-138	30–70	6	-15	5 В x 25 мА
ROS-1600PV	ЛП, С	1,5–1,6	7	-140	25–38	1	-26	5 В x 25 мА
POSA-158	МШ, ПМ	0,14–0,16	5	-163	2,4	2	-40	12 В x 25 мА
ZOS-1025	ДК	0,68–1,02	+8/-13	-136	30	0,1	-25	5 В x 140 мА
ZX-95-2500	ЛП, НЧП	1,6–2,5	7,5	-132	72–107	4	-17	12 В x 28 мА

**Примечание:** ЛП – линейная перестройка частоты; ПМ – поверхностный монтаж; С – для синтезатора сетки частот с ФАПЧ; ШП – широкая полоса перестройки; МШ – малошумящий; ДК – с двумя коаксиальными выходами; НЧП – низкая чувствительность к вариациям питания.

**Таблица 2. Параметры частотных смесителей**

Модель	Особенность	Частота $f_{LO}$ и $f_{RF}$ , ГГц	Мощность опорного сигнала $P_{LO}$ , дБмВт	Коэффициент передачи RF-IF, дБ	Изоляция портов LO и RF, дБ	Изоляция портов LO и IF, дБ	Входная мощность $P_{вхIP3}$ , дБмВт
MCA1-24MH	УТ, ПМ, ВИ	0,3–4	13	-6,1	-40	-25	13
MBA-591	УТ, ПМ	2,8–5,9	7	-6,5	-36	-26	10
MCA-36FH	ДБ, ВИ, ПМ, ПТ	3–3,6	17	-8,3	-44	-29	33
MCA-5H	ТБ	0,5–3,5	17	-6,9	-30	-32	26
MCA1-12GL	ШПС, УТ, ДБ	3,8–12	4	-6,8	-32	-13...-40	9
MCA1-0H	ШПС, УТ, ДБ	2,8–8	17	-6,3	-34	-12...-35	24
ZAD-11	К, ШПС	0,005–2	7	-9	-50	-45	–
ZX05-0MH	К	1,6–6,0	13	-6,8	-32	-17	15
HJK-21H	ПМ	1,8–1,9	17	-7,6	-28	-25	36
UNCL-1MH	АР	0,001–0,5	13	2,5	-60	-50	–
UNCL-L1	АО	0,001–0,5	-4	-5,7	-45	-32	–
JCIR-25	ПЗ	2,49–2,55	13	-7	-55	-25	20

**Примечание:** УТ – сверхтонкий; ДБ – с двойной балансировкой; ТБ – с тройной балансировкой; ПМ – для поверхностного монтажа; ВИ – с высокой изоляцией портов; ШПС – с широкой полосой частот; К – с коаксиальными соединителями; АР – активный с встроенным усилителем по радиочастотному входу; АО – активный с встроенным усилителем по опорному входу; ПЗ – с подавлением зеркальной полосы частот, ПТ – на полевых MESFET-транзисторах.

Кроме отмеченных серийных изделий можно заказать ГУН с техническими характеристиками, отличающимися от типовых. Например, ГУН с увеличенным значением верхней рабочей частоты, с уменьшенными значениями коэффициента затягивания частоты и чувствительности к вариациям напряжения питания. Возможно расширение сверх октавы коэффициента перекрытия по частоте. Вопросы согласования критических для потребителя параметров, условий и сроков поставки, таможенной очистки и другие можно решить через отечественную фирму РАДИОКОМП ([www.radiocomp.ru](http://www.radiocomp.ru)), тесно сотрудничающую с Mini-Circuits [4].

**СМЕСИТЕЛИ ЧАСТОТ**

Корпорация Mini-Circuits – мировой лидер в области производства высококачественных частотных смесителей радиочастотного диапазона. Ее специалистами разработаны методы изготовления и балансировки активных нелинейных элементов смесителей и сверхширокополосных трансформаторов импеданса, а также LTCC-технология монтажа соединительных цепей. В результате им удалось обеспечить высокое качество изделий в широком диапазоне рабочих температур (обычно -40...85°C, для некоторых моделей -55...100°C), в полосе частот до 4–6 ГГц и в условиях достаточно тяжелых климатических и механических воздействий (табл.2).

Смесители корпорации делятся на группы по таким характеристикам, как [5]:

- уровень мощности опорного сигнала;
- полоса частот радиочастотного (RF), опорного (LO) портов и порта промежуточной частоты (IF);
- конструктивное исполнение (с коаксиальными соединителями, для поверхностного монтажа и др.);
- наличие встроенных усилителей;
- вид балансировки (с одинарной, двойной или тройной балансировкой, с подавлением зеркальной полосы частот);
- пониженный уровень опорного или радиочастотного сигнала;
- пропускание постоянной составляющей по порту IF;
- пониженный уровень собственного фазового шума;
- широкий динамический диапазон неискаженного преобразования;
- возможность работы в условиях жестких внешних воздействий.

Например, изменение коэффициента передачи в интервале температур -55...100°C для смесителя типа MCA1-60MH не превосходит ±1 дБ для любых частот в диапазоне 1–6,5 ГГц. Смеситель MCA1-12GL обеспечивает полосу частот по IF-порту от постоянного

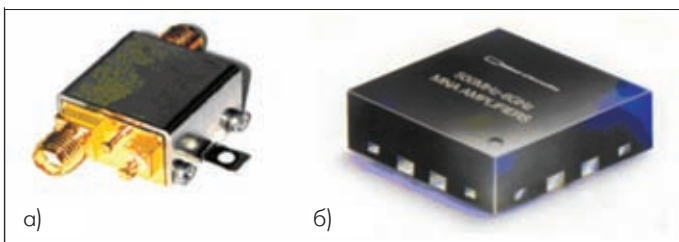


Рис. 3. Усилители ZX60-8008E (а) и MNA-7 (б)

тока до 1,5 ГГц, что позволяет использовать его как широкополосный фазовый детектор в системе фазовой автоподстройки частоты. В качестве фазовых детекторов могут применяться также смесители серий SYPD, MPD, RPD, ZRPD.

В смесителях серии JCIR предусмотрено высокое подавление уровня прохождения мощности опорного сигнала на порты RF и IF, а мощность в зеркальной полосе частот ослаблена не менее чем на 28 дБ. В моделях серии MCA за счёт тройной балансировки мощность опорного сигнала на выходе порта IF ослаблена на 32 дБ, а уровень мощности входного сигнала в точке IP3 достигает 26 дБмВт. В смесителях серии HJK использованы SiC-полевые транзисторы с затвором Шоттки (MESFET) с двойной балансировкой. Это позволило улучшить изоляцию RF- и IF-портов от мощности опорного сигнала до -44 дБ на частотах до 3,6 ГГц, повысить уровень мощности в точке IP3 до 37 дБмВт при сниженной до 17 дБмВт мощности на LO- и RF-портах. В ZX05-смесителях, рассчитанных на полосу частот 0,5–6 ГГц, ослабление мощности опорного сигнала увеличено до -70 дБ по RF-порту и до -60 дБ по IF-порту. В смесители серии UNCL входят встроенные широкополосные усилители, что позволяет снизить необходимый уровень сигнала на RF- или LO-входах.

**УСИЛИТЕЛИ СВЧ-СИГНАЛОВ**

Корпорация выпускает усилители СВЧ-сигналов на диапазон частот от 0 до 8 ГГц в различных модификациях: с коаксиальными соединителями; **монолитные** для поверхностного монтажа (серии MAV, MAR, GALI, LEE, ERA, MNA, VNA); **сдвоенные** (MERA); **малолумящие** (TO, ZQLSC, ZRL, ZX60); с **высокой изоляцией** обратных сигналов (ZX60, рис.3а), с **расширенным динамическим диапазоном линейности**, с **увеличенным уровнем выходной мощности** (HELA), **мощные** (LZY), **импульсные** (ZPUL). Как правило, они рассчитаны на работу со стандартным импедансом нагрузки 50 Ом или 75 Ом по входу и выходу. Сочетания параметров некоторых моделей широкополосных усилителей приведены в табл.3.

Таблица 3. Параметры широкополосных усилителей

Модель	Особенность	Диапазон частот, ГГц	Коэффициент усиления, дБ	Коэффициент шума, дБ	Выходная мощность P <sub>вых1дБ</sub> , дБмВт	Выходная мощность P <sub>выхр3</sub> , дБмВт	Питание	
							Напряжение, В	Ток, мА
ERA-1SM	ПМ	0–8	11,2	4,7	12,6	26	3,4	40
GALI-39	ПМ	0–7	17,7	4,9	9	22,9	3,5	35
MERA-533	2У, ПМ	0–4	16	3,5	16,5	35	4,9	65
ZFL-1000GH	ПУ, К	0,01–1,2	-24	15	13	25	15	170
ZHL-1724MLN	К, МШ	1,7–2,4	28	1,2	20	32	15	300
ZQLSC-1100	К, МШ	0,6–1,1	19	0,6	16	34	24	185
ZX60-013E	СШП, К	0,02–6	16	3,3	13,4	28,7	12	39
ZX60-1215LN	МШ, К	0,8–1,4	16,5	0,4	12,5	27	12	42
ZRL-150	МШ, К	0,95–2,15	25	1,5	24	33	12	300
LEE-39	М	0–8	21,9	4,5	10,4	33	3,5	55
MAR-8A	ВУ, ПМ	0–1	31,5	3	12,5	25	3,7	36
HELA-10B	УМ, ПМ	0,05–1	10	3,5	30	48	12	525
ZHL-5W-1	ВМ, К	0,001–0,5	40	9	37	49	24	5500
ZPUL-30P	НИУ, К	0,000002–0,7	29	7,2	22	34	24	400

Примечание: ПМ – поверхностный монтаж; К – коаксиальные соединители; ПУ – переменное усиление; ВУ – высокое усиление; МШ – малолумящий; 2У – сдвоенный усилитель; СШП – сверхширокополосный; М – монолитный; УМ – увеличенная мощность; ВМ – высокая мощность; НИУ – неинвертирующий усилитель импульсного сигнала.



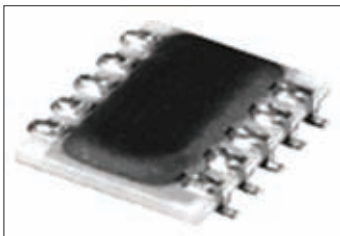


Широкополосные усилители серии ZX60 питаются от источников +5 В или +12 В, функционируют в диапазоне температур -40...85°C и смонтированы в малогабаритные корпуса размером 18 x 19 x 11 мм, снабжённые коаксиальными соединителями типа SMA или N. Усилитель ZX60-3011 характеризуется низким коэффициентом шума (1,4–1,8 дБ в полосе частот 0–3 ГГц и в указанном диапазоне температур), а также широким динамическим диапазоном линейности (уровень  $P_{\text{вых1дБ}}$  составляет 19,5 дБмВт, а  $P_{\text{вых1р3}}$  соответственно 31 дБмВт). Усиление модели ZX60-1215LN в стандартном температурном диапазоне составляет 16,5 дБ при сверхнизком коэффициенте шума 0,4 дБ.

В усилители серий ZRL, ZHL встроены автоматические регуляторы напряжения для защиты от перенапряжения источника питания и от короткого замыкания нагрузки. Неравномерность усиления монолитных широкополосных усилителей серии LEE не превышает ±0,1 дБ в полосе 0–2 ГГц. Они могут использоваться на частотах до 10 ГГц, монтируются в корпус размером 3 x 3 x 0,9 мм и удовлетворяют самым жёстким требованиям военных стандартов по уровню механических воздействий. Усилители серии HELA выполнены как двухтактные с мостовой схемой сложения мощностей, благодаря чему их номинальная выходная мощность может достигать 1 Вт. В усилителях серий VNA и MNA (рис. 36) во всём диапазоне частот уменьшение напряжения питания с 5 до 2,8 В приводит к снижению коэффициента усиления не более чем на 2 дБ. При поверхностном монтаже они не требуют внешнего дросселя для подключения питающего напряжения. Усилители с регулируемым коэффициентом усиления (серия ZFL) содержат встроенный регулятор, позволяющий изменять коэффициент передачи на 30 дБ за счет изменения внешнего управляющего напряжения.

## УДВОИТЕЛИ ЧАСТОТЫ

Группа широкополосных удвоителей частоты, выпускаемых корпорацией, представлена несколькими десятками моделей с частотами выходного сигнала от 50 кГц до 10 ГГц. Большинство новых моделей умножителей частоты выполнены по LTCC-технологии (рис.4). Диапазон их рабочих температур -55...100°C, отношение мощности на удвоенной частоте к мощности на входе составляет -12 дБ с уровнем нежелательных гармоник 16–30 дБ при входной мощности 5–16 дБмВт. Заслуживает внимания высокая синусоидальность выходного сигнала этих приборов: для модели FK-3000 уровень составляющих входной частоты и мешающих третьей и четвертой гармоник не превышает -30 дБ во всей полосе частот и в рабочем диапазоне температур.



**Рис.4. Широкополосный удвоитель частоты KVA-40 (выходная частота 5,4–9,6 ГГц, размер 6,3 x 7,6 x 1,8 мм)**

## УПРАВЛЯЕМЫЕ АТТЕНУАТОРЫ, КОММУТАТОРЫ, МОДУЛЯТОРЫ И ДЕМОДУЛЯТОРЫ

Для модуляции мощности сигнала корпорация Mini-Circuits выпускает **аттенуаторы** с цифровым (серия DAT) и аналоговым (EVA) управлением; широкополосные **переключатели** (ZNBT); **коммутаторы каналов** (десятки серий); **ограничители** (PLS). Цифровой аттенуатор модели DAT31575-SP обеспечивает в полосе частот 0–4 ГГц дискретные значения ослабления до 15,5 дБ, переключаемые за 1 мкс с шагом 0,5 дБ при входной мощности до 24 дБмВт. Аттенуатор выполнен по LTCC-технологии и собран в корпус раз-

мером 4 x 4 x 0,9 мм. Коэффициент ослабления устанавливается последовательным кодом с низким током потребления (до 10 мкА). В серию DAT входят модели с последовательным и параллельным интерфейсом цифрового управления ТТЛ-уровнями.

Коаксиальный выключатель сигнала модели ZNBT-60-1W в диапазоне частот от 2 МГц до 6 ГГц обеспечивает ослабление на 0,2 дБ в открытом состоянии и на 75 дБ в закрытом состоянии при уровне входной мощности до 1 Вт. Выключатель может использоваться совместно с широкополосными усилителями, лазерными диодами, в антенных системах и измерительных установках.

Диапазон рабочих частот **быстродействующих переключателей каналов**, выполненных на арсенидгаллиевых *p-i-n*-диодах или на полевых транзисторах, составляет 10 МГц–18 ГГц, время коммутации – от 12 мс (для электромеханических переключателей мощного сигнала) до 5 нс (для полупроводниковых коммутаторов), изоляция отключённого канала – до 100 дБ. Выпускаются варианты коммутаторов отражающего и поглощающего типов. Коммутатор ZASW-2-50DR за 5 нс подключает к нагрузке один из двух входных каналов в полосе 100 МГц–5 ГГц с входной мощностью до 20 дБмВт. А коммутатор типа ZASWA-2-50DR за столь же малое время подключает входную линию к одному из двух выходных каналов. Благодаря хорошему согласованию по входному и выходному импедансам такие узлы могут включаться каскадно.

Модель M10SWA-2-50DR в полосе частот от постоянного тока до 4,5 ГГц обеспечивает изоляцию в разомкнутом состоянии 75 дБ при входной мощности  $P_{\text{вх1дБ}}$  до 20 дБмВт. Ослабление электромеханического коммутатора MSP2T-18 с коаксиальными соединителями в полосе частот 0–18 ГГц при входной мощности до 25 Вт составляет 0,2 дБ в открытом состоянии и не менее 70 дБ в закрытом. Для него гарантируется не менее 10 млн. циклов коммутации с временем срабатывания 10 мс. Модель MSWT-4-20, выполненная на основе четырёх полевых транзисторов, предназначена для коммутации сигнала от выхода передатчика к одной из двух антенн или от этих антенн к входу приёмника при работе в полосе частот 0–2 ГГц.

**Ограничители мощности** (серия PLS) в полосе несущих частот 100 кГц–0,9 ГГц при входной мощности 3–15 дБмВт обеспечивают заданный уровень амплитуды на выходе с погрешностью 0,1–0,4 дБ при изменении фазового сдвига 0,8–20 градусов.

Управляемые напряжением **модуляторы фазы** (JSPHS, SPH) позволяют изменять фазу проходящего сигнала в пределах 0–180° в полосе несущих частот 8 МГц–1 ГГц при полосе модулирующих частот от постоянного тока до 50 кГц.

**Фазовращатели отражённой волны** (серия ELS – Electronic Line Stretcher), защищённые патентом США, используются для коррекции внешним напряжением сдвига фазы отражённого сигнала относительно падающего в тракте. Они стабилизируют амплитуды проходящего и отраженного сигналов для точных фазовых измерений и могут применяться для калибровки ГУН по значению коэффициента затягивания частоты. Модель ELS-1300, например, позволяет в полосе частот 0,75–1,3 ГГц при уровне входного сигнала до 10 дБмВт изменять фазу отражённого сигнала в пределах 0–360° за счет регулировки постоянного напряжения в пределах 1–25 В.

**Четырёхфазные модуляторы сигналов** (серии QMC, PMQPW, ZMQ), рассчитанные на несущие частоты от 30 до 1050 МГц, обеспечивают небалансность амплитуды 0,4 дБ и фазовые погрешности не более ±3°.

**Квадратурные фазовые модуляторы** серий MIQA, MIQC, ZAMIQ, MIQY в полосе несущих частот от 9 МГц до 1,8 ГГц позволя-

ют подавлять несущую частоту и зеркальную полосу на 38–40 дБ, а уровень нежелательных комбинационных компонент третьего порядка – на 58–65 дБ. Модулятор IQBG-2000A этого типа выполнен по LTCC-технологии в виде 10-выводной монолитной микросхемы размером 12,7 x 12,7 x 4,6 мм. Коэффициент передачи модулированного сигнала мощностью 10 дБмВт в полосе частот 0–10 МГц при частоте опорного сигнала 1,8–2 ГГц составляет -7,5 дБ; подавление несущего колебания не менее -30 дБ, зеркальной полосы частот -34 дБ, гармоник частоты модуляции -50 дБ на третьей гармонике и -70 дБ на седьмой. Диапазон рабочих температур – -40...85°C.

**Фазовые демодуляторы** (серии MIQA, MIQC, ZFMIQ, MIQY, JCIQ), рассчитанные на несущие частоты 1,15 МГц–1,88 ГГц, предназначены для демодуляции (детектирования) сигналов с квадратурной фазовой модуляцией в полосе частот 0–5 МГц с собственной небалансностью не более 0,1 дБ по амплитуде и 0,5–2° по фазе. Подавление паразитных комбинационных компонент третьего порядка составляет 55–64 дБ.

**ЧАСТОТНЫЕ ФИЛЬТРЫ**

Корпорация выпускает ряд линейных частотных фильтров, в том числе полосно-пропускающие фильтры (серии RBP, PNP, PIF, NBP) на среднюю частоту 10,7–70 МГц с полосой пропускания (по уровню 1,5 дБ) шириной 2–14 МГц и полосой заграждения (по уровню -20 дБ) не менее 7,5 МГц. Эти фильтры имеют коаксиальные соединители. Модель RBP-275 на среднюю частоту 275 МГц в монолитном исполнении поставляется в корпусе размером 8,9 x 8,9 x 2,5 мм. Максимальная проходящая мощность фильтра 0,5 Вт; диапазон рабочих температур -40...85°C. Разрабатываются и фильтры по параметрам, указанным потребителем.



**Рис.5. Частотные фильтры: полосно-пропускающий RBP-275 (а), гармониковые фильтры нижних частот LFCN-6700 (б) и VLF-6700 (в)**

**Гармониковые фильтры нижних частот** появились в каталогах корпорации в 2004 году в результате прорыва в технике новых конструкций. Mini-Circuits предлагает свыше сотни моделей этих компонентов серий VLF, VLFX, VLP, SCLF, LFCN и других с граничными частотами от 80 МГц до 6,7 ГГц. На рис.5 показан внешний вид фильтров с коаксиальными соединителями и фильтров монолитных конструкций для поверхностного монтажа. Граничная частота семисекционного фильтра нижних частот LFTC-5400, размещенного в корпусе размером 3,8 x 3,8 x 0,7 мм, составляет 1 ГГц

**Таблица 4. Параметры разветвителей/сумматоров мощности**

Модель	Особенность	Диапазон частот, ГГц	Изоляция, дБ	Дополнительные потери, дБ	Входная мощность, Вт	Разбаланс, не более	
						фаз, градусов	амплитуд, дБ
SBB2-3	2 x 0°; ПМ; УТ	2–2,3	-24	0,6	10	3	0,3
SCL-2-10	2 x 0°; ПМ	0,8–1	-30	0,5	10	4	0,25
SBTC-2-10-5075	2 x 0°; ПМ	0,05–1	-25	0,7	0,5	1	0,5
QCN-34	2 x 90°; ПМ	2,5–3,4	-32	0,4	15	1	0,4
JEPS-16-1W	16 x 0°; ПМ	0,005–1	-36	0,8	0,5	8	0,7
ZB5CS-920-10W	5 x 0°	0,45–0,92	-26	0,5	10	–	0,1
QCC-20	2 x 90°; ПМ, УТ	1,2–2,2	-35	0,4	17,5	1	0,4
SBTCJ-1W	2 x 180°; ПМ; П	0,001–0,75	-23	0,7	0,5	3	0,2

**Примечание:** 2 x 0° – два синфазных канала; ПМ – для поверхностного монтажа; 2 x 90° – два квадратурных канала; 2 x 180° – два противфазных канала; 5 x 0° – пять синфазных каналов; 16 x 0° – шестнадцать синфазных каналов; УТ – ультратонкий; П – приспособлен для пайки.

по уровню -0,2 дБ, 6,4 ГГц по уровню -3 дБ и 9 ГГц по уровню -20 дБ. Его мощность 19 Вт; интервал рабочих температур -55...100°C. Полоса заграждения по уровню -20 дБ модели VLF-6700 (рис.5в) при полосе пропускания 0–6,7 ГГц составляет 9,3 ГГц. Модели серии VLFX, содержащие 21 встроенную секцию, выполнены в стальном корпусе по LTCC-технологии, их гарантируемый уровень заграждения на частотах до 20 ГГц не менее -40 дБ.

**Фильтры верхних частот** (серии RHP, VHP, VHF, HFCN) применяются для развязки трактов передачи и приёма при работе с общей антенной, для подавления субгармонических компонент в передатчиках и в ГУН. Семисекционный миниатюрный (3,2 x 1,6 x 1 мм) керамический фильтр HFCN-1500 может подключаться к выходной цепи передатчика с постоянным напряжением до 1 кВ и функционировать при мощности сигнала до 7 Вт. Его полоса заграждения (по уровню -40 дБ) не превышает 1,14 ГГц, полоса пропускания – 1,56–6,3 ГГц, диапазон рабочих температур -55...100°C.

**РАДИОЧАСТОТНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ**

Качество радиочастотных трансформаторов играет решающую роль при создании требующих хорошей балансировки смесительно-преобразовательных и усилительных устройств, работающих в сверхширокой полосе частот и в сверхшироком диапазоне рабочих температур. Эти устройства характеризуются **схемой включения** (соотношение числа входных и выходных контактов – 2:2, 2:3, 3:3, 1:1:1 – для трансформаторов с тремя обмотками); **видом соединения** контактов по постоянному току (между собой или с общим проводом); **импедансами** входных и выходных цепей; **коэффициентами отражения** по входам и выходам; **граничными частотами** полосы пропускания по уровням -1 и -3 дБ, -20 и -40 дБ; **небалансностью** по амплитудам и по фазам; допустимыми значениями **постоянной составляющей** тока, **напряжения** между обмотками, **механических** нагрузок; диапазоном рабочих **температур**; массогабаритными показателями, монтажными размерами; способами присоединения к цепям.

Изделия этой группы компонентов Mini-Circuits отличает высокое качество. Например, коэффициент преобразования импеданса в широкополосных моделях, включенных по схеме 2:2, достигает 720 (12,5 Ом преобразуется в 1800 Ом) в полосе частот от 5 кГц до 2,2 ГГц. Они функционируют при мощности ВЧ-сигнала до 0,25 Вт (некоторые модели до 2 Вт), постоянном токе до 30 мА и в диапазоне температур -20...85°C. Неравномерность коэффициента передачи в модели ALMP-5075 не превышает 0,1 дБ в полосе частот 0–3 ГГц.

**ПАССИВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ СВЧ-ТРАКТОВ**

**Разветвители мощности** (power splitters) корпорации различаются рабочими частотами (до 6,5 ГГц), числом каналов (от 2 до 48),

номинальным сопротивлением оконечных нагрузок (50/50, 75/75, 50/75, 75/50 Ом), фазовым сдвигом между каналами (0°, 90° или 180°), входной мощностью (от 0,5 до 10 Вт). Узлы этого типа взаимные, поэтому могут использоваться либо как разветвители, либо как **сумматоры** (combiners). Разветвители/сумматоры на два направления с поворотом фазы в одном из каналов на 90° необходимы в квадратурных мостовых схемах сложения мощности, в балансных каскадах, в смесителях с подавлением зеркального канала.

В табл.4 приведены характеристики некоторых моделей этого типа. Вносимые дополнительные потери указаны сверх теоретически минимальных значений (два канала – 3 дБ; три – 4,8 дБ; четыре – 6 дБ; пять – 7 дБ; шесть – 7,8 дБ; восемь – 9 дБ; 16–12 дБ, 24 – 13,8 дБ и 48 – 16,8 дБ). При рассмотрении данных табл.4 следует обратить внимание на высокую культуру симметрирования каналов по фазе (до 8) и по амплитуде (до 0,4 дБ), а также на достигнутый уровень мощности суммарного сигнала (до нескольких десятков ватт).

Например, дополнительные потери разветвителя/сумматора ZX10-2-126 (рис.6), рассчитанного на полосу частот 7,4–12,6 ГГц, равны 0,25 дБ. Разветвители/сумматоры для поверхностного монтажа серии SBTC имеют едва ли не наименьшие размеры среди аналогичной продукции других производителей: SBTC-2-25, рассчитанный на диапазон частот 1–2,5 ГГц, имеет форму куба со стороной 3,8 мм.

Фирма выпускает широкую номенклатуру согласующих и ответвляющих узлов для СВЧ-трактов на частоту от 0 до 18 ГГц. Среди них: согласованные коаксиальные переходы (**адаптеры**) для разъёмов типа SMA, BNC и N в различных комбинациях по типу оконечных разъёмов (вилкам или гнездам) и импедансу нагрузки (50 и/или 75 Ом); эталонные **измерительные кабели, согласованные нагрузки, адаптоаттенюаторы** – адаптеры, совмещённые с фиксированными ослабителями; **точные фиксированные ослабители** (ослабление до 40 дБ с погрешностью менее 0,1 дБ в полосе частот 0–18 ГГц); однонаправленные и двунаправленные ответвители мощности, коаксиальные разделители постоянной составляющей (DC Blocks серии BLK). Например, для микроминиатюрного направленного ответвителя BDCA1-10-40 в полосе частот 1,6–4 ГГц ослабление составляет 10±0,7 дБ при коэффициенте направленного действия 21 дБ и проходящей мощности не более 24 Вт. Ответвитель BDCA-10-25 выделяет падающую и отражённую волны в полосе частот 0,8–2,5 ГГц с коэффициентом направленного действия не менее 33–37 дБ в двух направлениях; рассчитан на мощность до 50 Вт и смонтирован в керамический корпус размером 7,6 x 6,3 x 1,8 мм.

Адаптоаттенюаторы отличаются очень хорошим и мало меняющимся согласованием в сверхшироком диапазоне частот, установкой заданного ослабления (3, 6 или 10 дБ) с погрешностью не более 0,1 дБ при мощности до 0,5 Вт. Направленные ответвители серии ZX-30 с коаксиальными соединителями характеризуются высокими направленными свойствами в полосе от 5 МГц до 2 ГГц. Импеданс согласованной коаксиальной нагрузки типа ANNE-50X составляет 50 Ом в полосе частот от постоянного тока до 20 ГГц с коэффициентом отражения не более -40 дБ на частотах до 4 ГГц и не более -30 дБ в полосе 10–20 ГГц. Эталонные коаксиальные кабели серии SBL, кроме хорошего согласования, благодаря стальной гибкой защитной оплётке имеют высокую надёжность. Различаются они вариантами оконечных соединителей и длиной.

Среди пассивных компонентов можно отметить блокировочные элементы для поверхностного монтажа усилителей, работающих

в сверхширокой полосе частот. Обычные катушки индуктивности проявляют резонансные свойства на частотах, превышающих 0,5–2 ГГц. Фирма выпускает специальные согласующие радиочастотные блокировочные дроссели (RF Choke), обеспечивающие независимость усиления от частоты. Например, модель ADCH-80A с постоянным значением индуктивности



**Рис. 6. Разветвитель/сумматор мощности ZX10-2-126 (мощность входного сигнала до 1 Вт, частота от 7,4 ГГц до 12,6 ГГц)**

около 1 мкГн не проявляет резонансных свойств в сверхшироком диапазоне частот от 10 МГц до 10 ГГц и рассчитана на ток до 100 мА. Блокировочные элементы (Bias-Tee) серий JEBI, PBIC, ZFBI, ZFBT, TCBT включают в себя дроссель параллельного питания и разделительный конденсатор в высокочастотной цепи, обеспечивающие в полосе частот от 100 МГц до 6 ГГц развязку по высокой частоте 40 дБ, а модели с коаксиальными соединителями – развязку до 75 дБ.

Для большинства компонентов, выпускаемых корпорацией, цена производителя приводится на его сайте. Сопоставление с аналогичными изделиями мирового рынка [3–5] показывает заметное преимущество продукции Mini-Circuits по соотношению цена/качество.

Из анализа рынка следует, что изделия корпорации Mini-Circuits завоевали прочное место среди высококачественных, но недорогих моделей электронных компонентов радиочастотного диапазона.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Белов Л.А. Портрет МИТЕК.- ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2005, № 4, с. 99.
2. Интернет-сайт корпорации Mini-Circuits. <http://www.minicircuits.com>
3. Белов Л.А. Компоненты генераторов стабильной частоты. Генераторы, управляемые напряжением.- ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2004, №1, с.42.
4. РАДИОКОМП - радиокомпоненты мировых производителей. <http://www.radiocomp.ru>
5. Белов Л.А. Преобразователи частоты. Современные ВЧ-компоненты.- ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2004, №1, с.42; Частотные фильтры. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2004, №5, с.62.