

ЖИГ-генераторы и синтезаторы частот компании Micro Lambda Wireless

Вадим КУВШИНОВ
info@avrex.ru
Александр МАЙСТРЕНКО
master@radiocomp.ru

Железо-иттриевые гранаты широко и успешно применяются в перестраиваемых фильтрах, генераторах, синтезаторах и умножителях частот ВЧ- и СВЧ-диапазонов. Одним из лидеров данной технологии считается американская компания Micro Lambda Wireless, предлагающая наиболее широкий выбор подобных приборов. Статья знакомит читателей с основными продуктовыми линиями перестраиваемых генераторов и синтезаторов частот этой фирмы.

Технология ЖИГ-резонаторов

Работа резонаторов на основе железо-иттриевого граната (ЖИГ) основана на явлении резонанса прецессионного движения спиновых моментов электронов в монокристаллах феррита. В общем случае резонатор представляет собой ЖИГ-сферу диаметром 0,2–0,7 мм с хорошо обработанной поверхностью, охваченную взаимно перпендикулярными полупетлями (рис. 1). На нерезонансных частотах сфера ведет себя как обычный диэлектрик, и связь между полупетлями

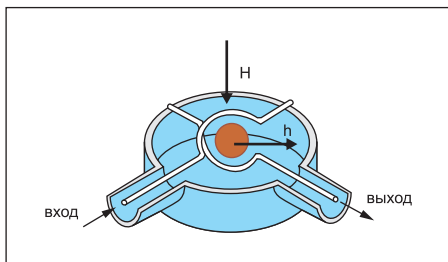


Рис. 1. Упрощенная схема ЖИГ-резонатора

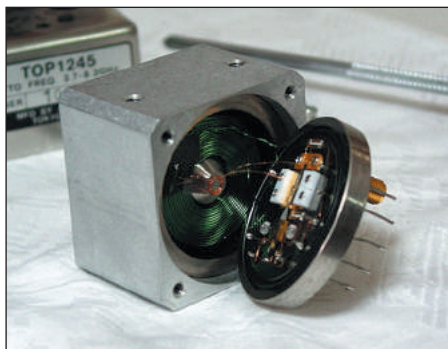


Рис. 2. Магнитная система ЖИГ-резонатора или генератора состоит из двух катушек: основной (зеленый провод) и вспомогательной (красный провод)

отсутствует. В магнитном поле напряженностью 20–40 мТл сфера проявляет резонансные свойства на частотах до 50 ГГц [1] с эквивалентной добротностью до 5000. При резонансе возникают компоненты поля, обеспечивающие сильную связь полупетель. Используя одну полупетлю как вход, а другую как выход сигнала, можно создать перестраиваемый фильтр. Для применения ЖИГ-резонатора в схеме перестраиваемого генератора достаточно одной полупетли.

Частота резонанса с высокой степенью линейности пропорциональна внешнему магнитному полю, что позволяет изменением тока электромагнита перестраивать резонатор в пределах до трех октав и даже до декады. Обычно электромагнит содержит две катушки: основную (может иметь обозначение Tune) для перестройки по рабочему диапазону частот и вспомогательную (может иметь обозначение FM) для точной настройки частоты генерации петель ФАПЧ (рис. 2). Диаметр ЖИГ-сферы составляет обычно около 0,5 мм (рис. 3), резонансная частота от него не зависит.

Ограничение в применении ЖИГ-резонаторов обусловлено инерционностью элек-

тромагнита, который управляет частотой. Обычно их время перестройки по частоте составляет несколько миллисекунд, поэтому оптимально использовать ЖИГ-генераторы в системах с достаточно плавным изменением частоты.

ЖИГ-генераторы компании Micro Lambda Wireless

ЖИГ-генераторы имеют широкую полосу перестройки и низкий уровень фазовых шумов, а также хорошо воспроизводимые линейные характеристики управления. На их основе возможно создание генераторов качающейся частоты, генераторов сложных сигналов — шумоподобных, сеток частот и т. п. Сочетание полезных свойств ЖИГ-генераторов делает их незаменимыми в целом ряде приборов, например в синтезаторах частот. Американская компания Micro Lambda Wireless, давно и успешно развивающая ЖИГ-технологии, предлагает большой выбор перестраиваемых генераторов и синтезаторов частот [2].

Диапазон рабочих частот ЖИГ-генераторов составляет 0,5–40 ГГц как для узкополосных, так и для широкополосных вариантов исполнения. В основном диапазоне частот 2–20 ГГц используются генераторы с постоянным магнитом, в диапазоне 0,5–40 ГГц — генераторы с электромагнитом и удвоением частоты. Возможны различные варианты выходных ВЧ-соединителей: SMA-F, SMA-M и GPO, у малогабаритных генераторов выход может быть оформлен в виде ножки для пайки. Электрические характеристики могут быть адаптированы индивидуально под особые требования заказчика. Различные серии генераторов могут соответствовать температурным требованиям как для коммерческого, так и для специального применения.

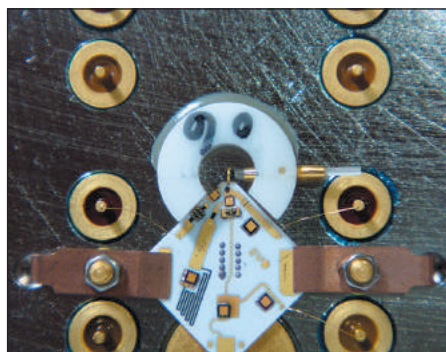


Рис. 3. Обычно диаметр ЖИГ-сферы (расположена в центре круга) около 0,5 мм

Перестраиваемые ЖИГ-генераторы в корпусе TO-8

Выпускаются две серии ЖИГ-генераторов в корпусе TO-8 (рис. 4): с электромагнитом (серия MLTM) и постоянным магнитом (серия MLTO). Диаметр корпуса генераторов составляет 15,9 мм, а высота варьируется в зависимости от модели. Генераторы имеют низкое энергопотребление и не нуждаются в радиаторах. Генераторы серии MLTO Second Generation суммарно перекрывают диапазон 3–13 ГГц, а генераторы серий MLTO и MLTM — диапазон 2–8 ГГц. В зависимости от модели уровень выходного сигнала генераторов этих серий составляет 9–10 дБм, уровень гармоник –12...–15 дБн, уровень паразитных составляющих не более –70 дБн, спектральная плотность фазового шума при отстройке 10 кГц не более –98...–100 дБн/Гц. Крайне малый размер, низкие фазовые шумы и высокая стабильность частоты делают эти генераторы прекрасным выбором для различных применений в платформах PXI, PCI, в синтезаторах и многих других приборах.

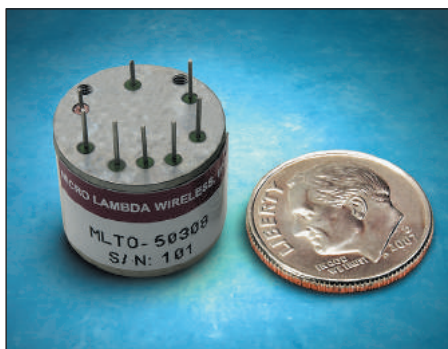


Рис. 4. ЖИГ-генератор в корпусе TO-8

Перестраиваемые ЖИГ-генераторы в корпусе для поверхностного монтажа

Серия MLSMO октавных перестраиваемых генераторов с постоянным магнитом выпускается в миниатюрном корпусе для поверхностного монтажа (рис. 5), занимающем на плате квадрат 17,8×17,8 мм. Эта серия

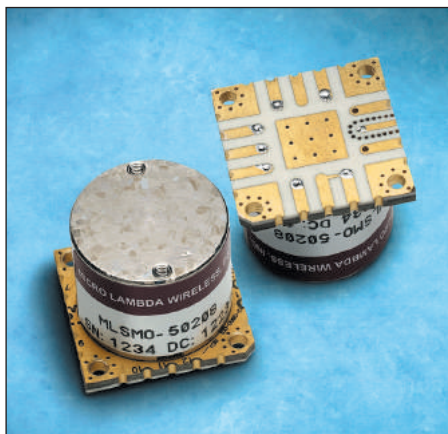


Рис. 5. Генераторы серии MLSMO в корпусе для поверхностного монтажа

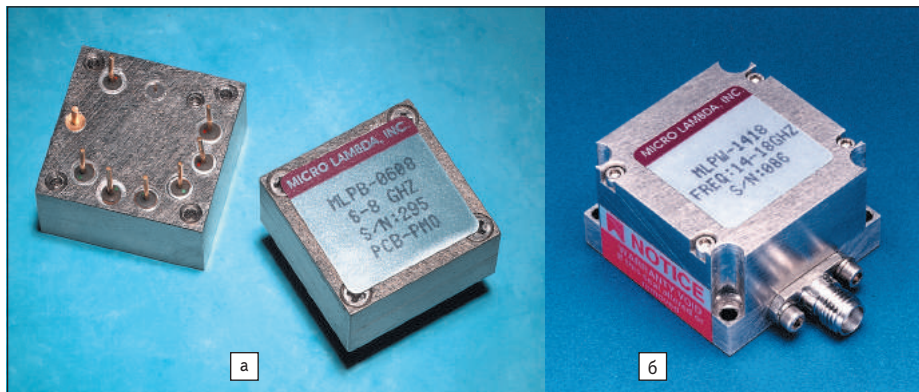


Рис. 6. Генераторы серий: а) MLPB; б) MLPW

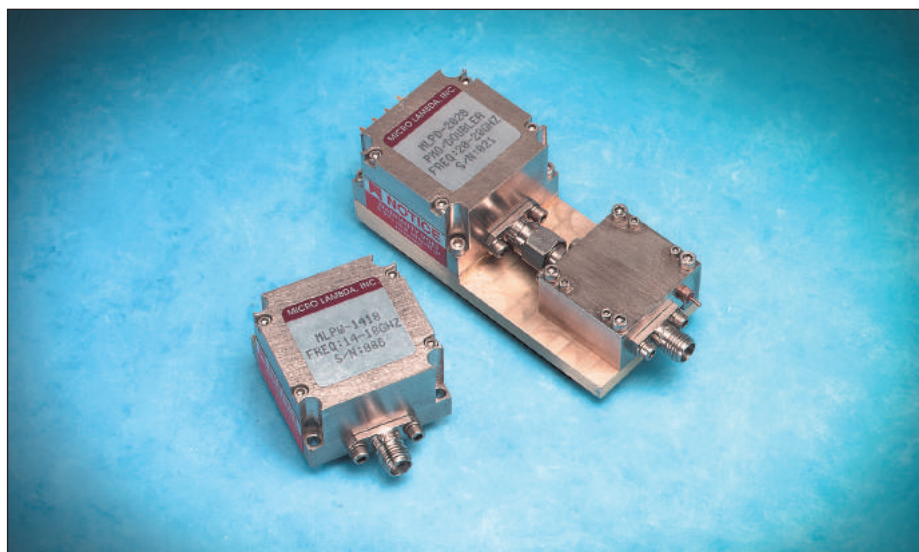


Рис. 7. Генератор с удвоителем частоты серии MLPX

Таблица 1. Основные параметры ЖИГ-генераторов с постоянным магнитом

	MLLP	MLPB	MLPF		MLPM		MLPW	MLPX
Технология*			Б	П	Б	П		
Диапазон рабочих частот, ГГц	2–12	2–8	2–14	8–20	2–14	9–20	8–22	16–40
Диапазон перестройки (шаг сетки), ГГц	(2)	2	(2)		2		4	8
Уровень выходного сигнала, дБм	13	14–15	13–14	10–13	13–14	13	10–13	8–10
Уровень гармоник, дБн			–12					–20
Спектральная плотность шума при отстройке 10 кГц, дБн/Гц	–95...–103	–98...–103	–95...–103	–80...–90	–98...–103	–90	–80...–90	–74...–84
Размеры, мм			25,4×25,4×12,7				31,8×31,8×19,1	

* Б — биполярная технология, П — полевая технология.

перекрывает частотный диапазон 2–13 ГГц, имеет уровень выходного сигнала 8 дБм, уровень гармоник –12...–15 дБн, уровень паразитных составляющих –70 дБн, спектральную плотность шума –98...–103 дБн/Гц при отстройке 10 кГц, диапазон рабочих температур 0...+65 °С. Производитель может изготовить генератор с центральной частотой, определяемой заказчиком.

Стандартные ЖИГ-генераторы с постоянным магнитом

Низкая стоимость — одно из главных преимуществ генераторов с постоянным магни-

том по сравнению с генераторами с электромагнитом. Генераторы с постоянным магнитом серий MLPB, MLPF, MLPM и MLPW (рис. 6) работают в диапазоне частот 2–22 ГГц, а генераторы серии MLPX (рис. 7), имеющие в своем составе удвоитель частоты, перекрывают диапазон 8–40 ГГц. Основные параметры генераторов этих серий приведены в таблице 1.

Миниатюрность и низкие фазовые шумы делают эти генераторы лучшим выбором для узкополосных применений. Генераторы серий MLPF и MLLP не перестраиваемые, они изготавливаются на фиксированную частоту

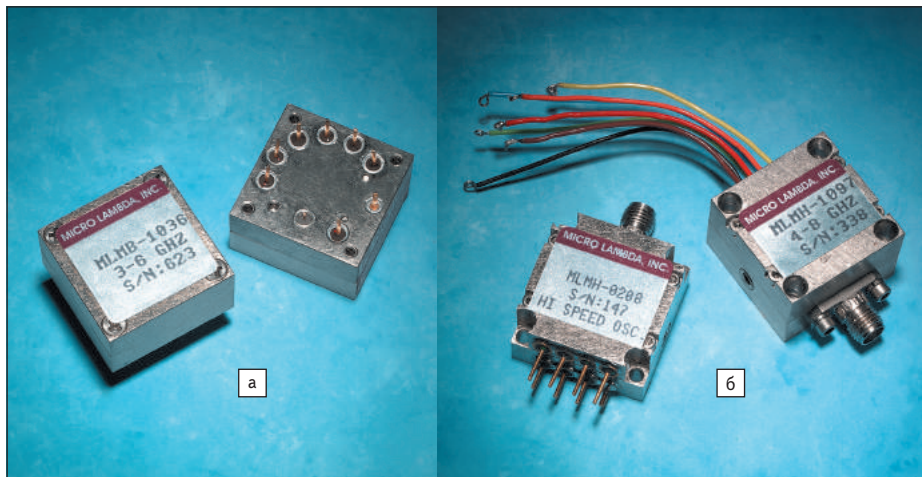


Рис. 8. Миниатюрные генераторы серий: а) MLMB; б) MLMH

с шагом сетки 2 ГГц, но возможна небольшая подстройка по частоте для работы в петле ФАПЧ. Генераторы серии MLPW могут изготавливаться с любой заданной заказчиком центральной частотой. Генераторы серий MLPF и MLPM производятся как по биполярной, так и по полевой технологии, причем в последнем случае их шумовые параметры несколько хуже. Из-за наличия удвоителя частоты генераторы серии MPLX имеют более широкий диапазон перестройки, у них выше уровень фазовых шумов, но ниже уровень гармоник. Уровень паразитных составляющих в сигнале всех серий генераторов не более -70 дБн.

Серия MLPB разработана для коммерческого применения, где важны малые габариты и низкая стоимость такого устройства.

Серии MPLM, MLPW и MLPX производитель рекомендует для приложений, не допускающих влияния микрофонного эффекта на фазу сигнала, к примеру для цифровых систем связи, использующих модуляцию QAM и QPSK. Доступны генераторы как с коммерческим, так и с расширенным диапазоном температур -20...+70 °С.

Миниатюрные ЖИГ-генераторы с электромагнитом

Эта линия генераторов представлена тремя сериями: MLMB, MLMY и MLMH (рис. 8). Все генераторы выполнены в миниатюрных корпусах размером 25,4×25,4×12,7 мм. Диапазон их рабочих частот находится в пределах 0,7–8 ГГц, он разбит на октавные или мультиоктавные поддиапазоны. Генераторы

Таблица 2. Основные параметры миниатюрных ЖИГ-генераторов

	MLMB	MLMY	MLMH
Диапазоны частот, ГГц	2–8	0,7–8	2–8
Уровень выходного сигнала, дБм	13–15	13–15	13...14
Спектральная плотность шума, дБн/Гц	-98...-103	-80...-98	-98...-103
Уровень гармоник, дБн	-12	-8...-12	-12
Уровень паразитных составляющих, дБн	-70	-60...-70	-70

серии MLMH отличаются тем, что имеют уменьшенное время перестройки: до 80 мкс на 1 ГГц. Основные параметры генераторов приведены в таблице 2. Доступны генераторы с коммерческим и расширенным диапазоном температур.

Стандартные ЖИГ-генераторы с электромагнитом

Стандартные генераторы с электромагнитом выпускаются в прямоугольных корпусах с ребром основания 25,4 или 31,8 мм и в цилиндрических корпусах с диаметром основания 44,5 или 50,8 мм (рис. 9). Эта продуктовая линия состоит из узкополосных, октавных и мультиоктавных генераторов. Уровень выходного сигнала и фазовых шумов зависит от диапазона частот генератора. В зависимости от конфигурации можно выбрать коммерческий или расширенный температурный диапазон. Стандартные генераторы предназначены для работы в диапазоне температур 0...+65 °С, но производитель заявляет, что они могут быть оснащены в соответствии с военным стандартом и работать в диапазоне температур -54...+85 °С. Основные параметры генераторов приведены в таблице 3.

Все генераторы фирмы Micro Lambda Wireless поставляются со встроенными драйверами управления, за исключением моделей для поверхностного монтажа и моделей с быстрой перестройкой. Сопряжение драйвера с ЖИГ-генератором на стадии производства обеспечивает устойчивую работу генератора с требуемыми характеристиками во всем рабочем диапазоне температур.

Таблица 3. Основные параметры перестраиваемых ЖИГ-генераторов стандартной конфигурации с электромагнитом

	MLOM	MLOB	MLOS	MLXS-EXTREME	MLXS-T	MLXB	MLXB-EXTREME
Диапазон частот, ГГц	0,7–18		0,7–40	8–20	2–20		8–20
Уровень выходного сигнала, дБм	10–15	13–14	13–14	14–15	13–14	12–13	14–15
Спектральная плотность шума при отстройке 100 кГц, дБн/Гц				-128...-130	-128	-120	-128...-130
Уровень гармоник, дБн		-8...-12			-12		
Уровень паразитных составляющих, дБн		-70		-60	-70		-60
Размеры, мм	25,4×25,4×25,4	31,8×31,8×31,8		∅44,5×35,6	∅50,8×35,6		31,8×31,8×23,9



Рис. 9. Стандартные ЖИГ-генераторы с электромагнитом серий: а) MLOM; б) MLOS

Синтезаторы частот компании Micro Lambda Wireless

ГУН или ЖИГ?

Этот вопрос традиционно возникает у разработчиков высококачественных синтезаторов частот. Преимущества и недостатки обоих классов генераторов известны. ЖИГ-генераторы имеют более низкий уровень шумов, но довольно значительное время перестройки по частоте, составляющее единицы миллисекунд. ГУН перестраиваются по частоте за микросекунды, но существенно проигрывают ЖИГ-генераторам по уровню шумов. Однако последнее не означает, что ГУН неприемлемы в малошумящих синтезаторах частот. В [2] показано, что в результате использования сложной схемы формирования опорной частоты, состоящей из задающего кварцевого генератора и синхронизируемого им генератора на керамическом или диэлектрическом резонаторе и быстродействующей петли ФАПЧ на выходе ГУН-синтезатора, удается получить уровень шумов, сопоставимый с шумами ЖИГ-синтезатора. Задача построения быстродействующего и в то же время малошумящего синтезатора решается, но путем его значительного схемотехнического усложнения. Если же требования быстрой перестройки по частоте нет, то ЖИГ-синтезатор представляется оптимальным вариантом.

Компания Micro Lambda Wireless предлагает широкий выбор ЖИГ-синтезаторов частот для диапазона 0,5–22 ГГц. Вся номенклатура синтезаторов подразделяется на три основные продуктовые линии, каждая из которых состоит из нескольких серий приборов. Одну линию составляют малогабаритные синтезаторы серий MLSL, MLSL DO и MLSL IC с низким энергопотреблением, специально разработанные для высокоскоростных цифровых систем передачи данных. Другая линия содержит серии синтезаторов MLSN и MLSW, предназначенных для телекоммуникаций и спутниковой связи, а также для испытательной и измерительной аппаратуры. В третью линию входят серии MLSP, MLSP VSAT и MLSP Second Generation малогабаритных малошумящих синтезаторов, совместимых с шасси PXI и Compact PCI.

Бюджетные ЖИГ-синтезаторы

Бюджетная линия синтезаторов с постоянным магнитом представлена восемью моделями серии MLSL (рис. 10), суммарно перекрывающими диапазон частот 2–12 ГГц. Производитель предлагает два варианта синтезаторов: с диапазонами перестройки 2 и 3 ГГц. Синтезаторы имеют уровень фазового шума -98 дБн/Гц при отстройке 10 кГц, выходную мощность 10–12 дБм (в зависимости от модели), уровень паразитных составляющих -70 дБн и потребляемую мощность менее 6 Вт. Время переключения частоты составляет 100 мс. Небольшой размер ($63,5 \times 63,5 \times 25,4$ мм) и низкая стоимость делают эти синтезаторы идеальным выбором для решения задач цифрового приема, а также для общих применений. Встроенный энергонезависимый микроконтроллер запоминает значение установленной частоты в случае отключения питания. Эта серия имеет варианты MLSL DO с выходным сплиттером, разделяющим выходной сигнал на два коаксиальных соединителя, и MLSL IC со встроенным кварцевым генератором. В качестве опции возможно удвоение выходной частоты до 24 ГГц.

ЖИГ-синтезаторы для систем связи

Линия синтезаторов MLSN (рис. 11) представлена 11 моделями, суммарно перекрывающими диапазон частот 2–16 ГГц. Эти синтезаторы идеальны для роли гетеродинов радиоприемных устройств и преобразователей частоты, а также для различных приложений в области телекоммуникаций и спутниковой связи, использующих QAM размерностью до 1024. В диапазоне перестройки 2 ГГц они имеют разрешение 1 Гц, выходную мощность 8–13 дБм (в зависимости от модели), уровень паразитных составляющих -60 дБн, время переключения частоты 12 мс. Спектральная плотность фазового шума составляет $-106...+110$ дБн/Гц в зависимости от модели. Габариты синтезаторов $177,8 \times 127 \times 25,4$ мм, потребляемая мощность 17 Вт. В синтезаторах этой серии используется микроконтроллер с энергонезависимой памятью, которая может хранить настройки на 1000 рабочих частот. Опционально возможны два радиочастотных выхо-



Рис. 10. Синтезаторы серии MLSL



Рис. 11. Внешний вид синтезаторов серий MLSN и MLSW

да, дополнительный выход сигнала встроенного генератора и вход для внешнего синхронизирующего сигнала частотой 5–50 МГц. Синтезаторы родственной серии MLSW суммарно перекрывают диапазон частот 0,6–10 ГГц (поддиапазоны 0,6–3; 2–8 и 2–10 ГГц), остальные параметры и корпус такие же, как у серии MLSN.

Малошумящие ЖИГ-синтезаторы

Первоначально линия малогабаритных малошумящих синтезаторов была представлена четырьмя моделями серии MLSP (рис. 12) с диапазонами рабочих частот 0,6–2,5; 2–8; 6–18; 8–20 ГГц и временем перестройки 5 мс. Затем она была расширена тремя моделями серии MLSP VSAT с диапазонами рабочих частот 4,2–14,2; 4,6–8,9 и 11,6–13,9 ГГц и временем перестройки 6 мс, ориентированными на использование в аппаратуре спутниковой связи VSAT для диапазонов C, X и Ku, а также двумя моделями серии MLSP Second Generation с диапазонами рабочих частот 2–18 и 2–20 ГГц и временем перестройки 7 мс. Синтезаторы этой продуктовой линии имеют разрешение по частоте 1 кГц, выходную мощность 8–13 дБм, спектральную плотность шума $-88...+98$ дБн/Гц (в зависимости от модели), управляются через интерфейс USB. Габариты $76,2 \times 127 \times 25,4$ мм позволяют устанавливать их в шасси стандартов PXI и Compact PCI. В качестве опции возможна синхронизация внешним сигналом с частотой 1–200 МГц.

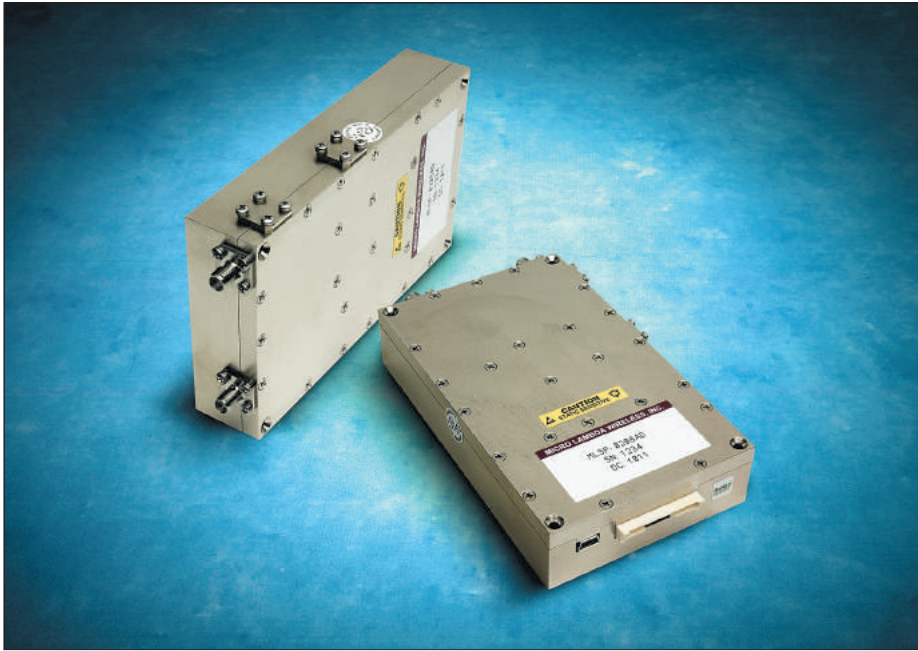


Рис. 12. Синтезаторы серии MLSP

Выводы

В одной статье невозможно рассказать обо всех моделях ЖИГ-генераторов и синтезаторов, выпускаемых фирмой Micro Lambda Wireless. В обзоре представлены лишь наиболее популярные продуктовые линии, но и они дают представление о широте ассортимента выпускаемой продукции. Российские разработчики ВЧ-и СВЧ-аппаратуры наверняка смогут подобрать в номенклатуре выпускаемой фирмой Micro Lambda Wireless продукции генератор или синтезатор, удовлетворяющий их самым высоким требованиям. ■

Литература

1. Белов Л. Корпорация Micro Lambda Wireless: СВЧ-приборы с ЖИГ-перестройкой // Электроника: НТБ. 2010 № 8.
2. www.microlambdawireless.com
3. Ченакин А. ГУН или ЖИГ? Проблема выбора при проектировании высококачественного синтезатора с ФАПЧ // Электроника: НТБ. 2012. № 6.