

УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ ЖИГ-РЕЗОНАТОРОВ – ПРОДУКЦИЯ КОМПАНИИ Micro Lambda Wireless

ЧАСТЬ 1

В.Кувшинов, к.т.н., В.Кочемасов, к.т.н., В.Горбачев info@avrex.ru

Модули на основе ЖИГ-резонаторов (фильтры, генераторы, синтезаторы) широко используются в различных приборах. Один из ведущих производителей ЖИГ-устройств – компания Micro Lambda Wireless. Она была основана в 1990 году специально для разработки и продвижения на рынок высокотехнологичных СВЧ-устройств на основе ЖИГ-резонаторов. О современных продуктах компании, их особенностях и преимуществах, рассказывается в статье.

ЖИГ-ФИЛЬТРЫ

Принцип работы ЖИГ-фильтров основан на ферромагнитном резонансе. Он возникает, когда к кристаллу ЖИГ (железо-иттриевый гранат – $Y_3Fe_5O_{12}$), находящемуся в постоянном магнитном поле (далее оно называется подмагничивающим), прикладывается внешнее электромагнитное поле определенной частоты и поляризации. ЖИГ-резонатор обычно имеет сферическую или эллиптическую форму – так обеспечивается его наибольшая добротность. Шарик ЖИГ помещается между двумя микрополосковыми полупетлями (входной и выходной), расположенными под углом 90° для уменьшения прямой связи между ними (рис.1). На нерезонансных частотах связь между линиями отсутствует, а на частотах, близких к резонансу, возникают компоненты поля, обеспечивающие связь между входом и выходом. Таким образом, через ЖИГ-резонатор, выступающий в роли фильтра, проходят только волны определенных частот.

Важное достоинство ЖИГ-резонаторов – возможность электронной перестройки по частоте в широких пределах с достаточно высокой скоростью. Это достигается изменением напряженности подмагничивающего поля, причем настроечная характеристика, выражающая зависимость резонансной частоты от величины магнитного поля, является линейной.

Следует отметить, что ЖИГ-кристаллы анизотропны, что ухудшает температурную стабильность

частоты ферромагнитного резонанса. Для компенсации температурного дрейфа требуется точное управление подмагничивающим полем. Оно достигается при помощи внешних управляющих устройств, называемых драйверами. Поэтому ЖИГ-фильтры целесообразно рассматривать в связке "фильтр + драйвер". Для каждого типа драйверов компанией Micro Lambda Wireless разработаны специальные методики калибровки и юстировки.

Кроме того, нужно иметь в виду, что в фильтрах может быть установлено несколько ЖИГ-резонаторов. Это, с одной стороны, увеличивает крутизну скатов АЧХ и уровень гарантированного затухания фильтров, но, с другой стороны, усложняет их настройку и эксплуатацию, а также увеличивает вносимые потери. Уровень гарантированного затухания для фильтров с различным количеством ЖИГ-резонаторов можно оценить по специальному графику (рис.2). По нему

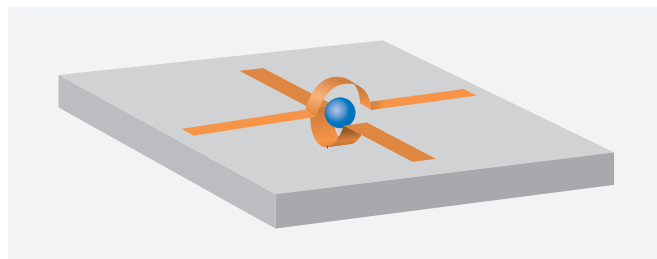


Рис.1. Упрощенная схема связи ЖИГ-резонатора с полосковой линией

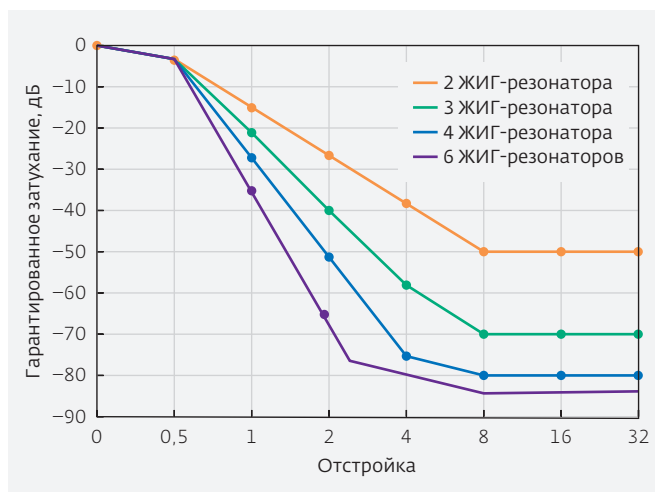


Рис.2. Зависимость подавления сигнала вне полосы пропускания ЖИГ-фильтров от количества ЖИГ-резонаторов (без учета вносимых потерь). Отстройка от центральной частоты нормированной АЧХ выражена в кратных единицах, которые численно равны полосе пропускания фильтра (в МГц), определенной по уровню 3 дБ

можно также выполнить обратную процедуру – определить число ЖИГ-резонаторов для обеспечения требуемого гарантированного затухания при заданной отстройке от центральной частоты.

Компания Micro Lambda Wireless выпускает большой набор полосно-пропускающих и режекторных, или полосно-заграждающих, фильтров (www.microlambdawireless.com, www.avrex.ru. Сайты содержат, в том числе, демонстрационные видеоматериалы). Полосно-пропускающие фильтры (рис.3) выпускаются для широкого диапазона частот от 500 МГц до 50 ГГц с полосой пропускания по уровню 3 дБ от 15 до 500 МГц. Отметим несколько серий фильтров из модельного ряда компании.

Миниатюрные перестраиваемые ЖИГ-фильтры с рабочим диапазоном частот 1–8 ГГц (серия MLFI).

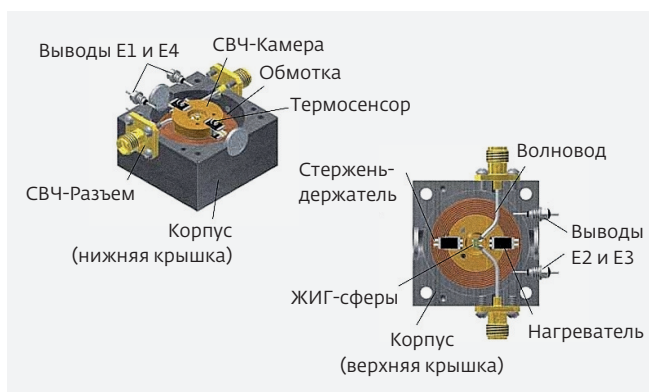


Рис.3. Конструкция перестраиваемого полосно-пропускающего фильтра MLFP-42026. Выводы E1, E2 – управление перестройкой, выводы E3, E4 – нагреватель

Устройства этой серии (рис.4а) – самые миниатюрные на рынке ЖИГ-фильтров. Малые размеры (1,25×1,25×0,56 дюймов) достигнуты за счет использования встроенного электромагнита оригинальной конструкции. В серии есть четырех- и шестирезонаторные фильтры. Минимальная полоса пропускания по уровню 3 дБ составляет у них 20 МГц, частотные диапазоны – 1-2; 2-4; 4-8; 2-8 ГГц, гарантированное затухание – до 80 дБ у четырехрезонаторных и до 100 дБ у шестирезонаторных моделей.

Перестраиваемые ЖИГ-фильтры с постоянным магнитом с диапазоном частот 4–16 ГГц (серия MLFF). В данной серии используются те же малогабаритные корпуса, что и в серии MLFI. Фильтры имеют гарантированное затухание 80 дБ и полосу пропускания не менее 50 МГц по уровню 3 дБ. Поскольку для работы таких фильтров не требуется радиатор, они идеально подходят для работы в устройствах с низким потреблением энергии.

Стандартные перестраиваемые ЖИГ-фильтры с электромагнитом с диапазоном частот от 500 МГц

Весь мир СВЧ электроники

Официальный представитель в России

www.AVREX.ru

Компоненты и оборудование для систем связи

Подстроечные конденсаторы

ЖИГ-генераторы
ЖИГ-фильтры
Синтезаторы частоты

Синтезаторы частоты

Стандарты частоты

Керамические ЧИП-конденсаторы

USB-приборы: аттенюаторы фазовращатели синтезаторы частоты

СВЧ-фильтры

Таблица 1. Характеристики режекторных фильтров

Серия	Частотный диапазон, ГГц	Глубина режекции, дБ/полоса, МГц
MLFR (октавный)	2–4; 4–8; 8,0–12,4; 12,4–18,0	40/15; 40/20; 40/25; 40/25
MLFR (мультиоктавный)	0,5–2,0; 2–8; 2–12; 4–18; 6–18	40/7; 40/15; 40/10; 40/30; 40/25
MLFR (широкополосный)	2–18; 2–20	40/10 (2 ГГц) и 40/50 (18 ГГц); 40/5 (2 ГГц) и 40/40 (20 ГГц)
MLFR (ультра-режекторный)	5,9–6,4; 7,9–8,4; 8,9–9,6	70/70
MLFRD (Dual Two)	2–6; 2–8; 6–18; 8–18	40/5 мин. (20 макс.); 40/5 мин. (20 макс.); 40/15 мин. (35 макс.); 40/15 мин. (35 макс.)

Таблица 2. Примеры фильтров для лабораторных испытаний

Полосовые фильтры (MLBFP)		
№ модели	Частотный диапазон, ГГц	Полоса пропускания по 3 дБ, МГц
40520	0,5–2,0	20
42020	2,0–20,0	40
46020	6,0–20,0	100
78020	8,0–20,0	500
Режекторные фильтры (MLBFR)		
№ модели	Частотный диапазон, ГГц	Полоса режекции 3/40 дБ, МГц
0502	0,5–2,0	100/5
0220	2,0–20,0	150/5
160418	4,0–18,0	150/30
1218	12,0–18,0	150/25

Таблица 3. Характеристики генераторов гармоник

Параметр	Модель			
	MLHG-1212	MLHG-1312	MLHG-5218	MLMA-1818
$f_{вх}$, МГц	100	1000	500	200
$P_{вх}$, дБмВт	27	27	27	5±3
$f_{вых}$, ГГц	1–12,4	1–12,4	1–18	1,8–18
$P_{вых}$, дБмВт	–30	–15	–40	–30
HR, дБн	–50	–65	–65	–40
Гистерезис, МГц	15	15	20	25

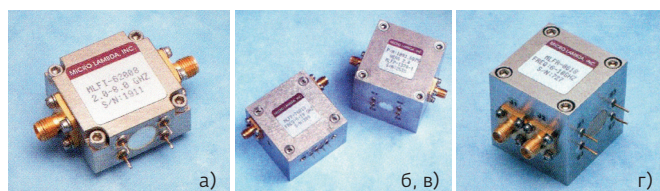


Рис.4. Фильтры серий MLFI (а), MLFP (б–в), MLFR (г)

до 50 ГГц (серии MLFM и MLFP). Фильтры этого типа (рис.4б–в) доступны в корпусах кубической формы с размерами граней 1; 1,2; 1,4; 1,7 и 2 дюйма. Диапазон перестройки составляет от одной до нескольких октав, в зависимости от модели. Возможны различные варианты исполнения: двух-, четырех-, шести-, семи-, восьмirezонаторные, с гарантированным затуханием от 45 до 120 дБ (рис.5). Компания также предлагает модели с двумя двухрезонаторными и двумя трехрезонаторными фильтрами в одном корпусе (Dual Two и Dual Three). Низкие пульсации и широкий рабочий диапазон частот делают эти серии самыми распространенными на рынке.

Режекторные перестраиваемые ЖИГ-фильтры с электромагнитом в диапазоне частот 2–20 ГГц. Такие фильтры представлены рядом моделей (рис.4г, табл.1). Все они поставляются в корпусе в виде куба с размером граней 1,4 дюйма. Тип выходного разъема – SMA.

Фильтры для лабораторных испытаний с диапазоном частот 500 МГц до 50 ГГц. Компания Micro Lambda Wireless выпускает две серии ЖИГ-фильтров в виде полнофункционального прибора (рис.6): полосовые фильтры (серия MLBFP) и режекторные фильтры (серия MLBFR) с диапазонами частот от 500 МГц до 50 ГГц и от 500 МГц до 20 ГГц, соответственно, (табл.2). Вносимые потери для полосовых фильтров в зависимости от модели составляют от 6,2 до 9,2 дБ, а для режекторных – от 2,7 до 3,2 дБ. Приборы серий



Рис.6. ЖИГ-фильтр серии MLBFP

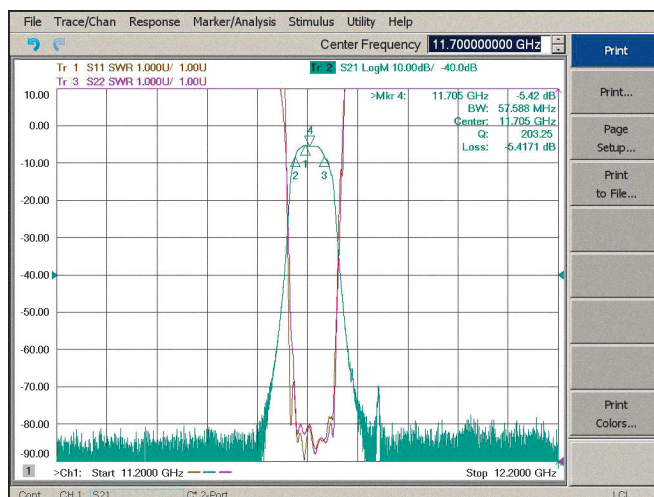


Рис.5. Пример АЧХ и КСВ ЖИГ-фильтра MLFP-62018PD

MLBFP и MLBFR питаются от стандартной электрической сети. Управление ими выполняется с помощью ручки настройки, клавиатуры, а также через USB-или Ethernet-интерфейсы. Данные серии фильтров идеально подходят для производственных и лабораторных измерений.

ГЕНЕРАТОРЫ ГАРМОНИК

Генератор гармоник представляет собой умножитель частоты с широким диапазоном изменения кратности. Он включает СВЧ-диод с накоплением заряда (ДНЗ), формирующий радиоимпульсы с частотой входного сигнала, и перестраиваемый четырехрезонаторный полосно-пропускающий ЖИГ-фильтр, выделяющий определенную гармонику входного сигнала с кратностью частот $N = f_{\text{вых}}/f_{\text{вх}}$ от 1 до 180 (в зависимости от модели). Такой узел характеризуется малой неравномерностью мощности выделяемой гармоники и высоким значением параметра подавления побочных спектральных составляющих (Harmonic Rejection, HR).

Компания Micro Lambda Wireless предлагает несколько моделей генераторов гармоник (табл.3) с рабочим диапазоном от 1 до 18 ГГц. По заказу изготавливаются модели с выходной частотой до 26,5 ГГц. Размер генераторов этой серии составляет 3,6×3,6×3,6 см, масса – 312 г (без модуля управления), гарантированный интервал рабочих температур – 0–65°C. Модель генератора гармоник MLMA-1818 содержит встроенный усилитель входного сигнала, что снижает требования к входной мощности. В этой модели настройка на выбранную гармонику выполняется изменением управляющего напряжения в пределах от 0 до 10 В.

Продолжение следует.

