

Пассивные компоненты для ВЧ/СВЧ-применений компании Johanson Technology

Константин ВЕРХУЛЕВСКИЙ
info@icquest.ru

Проектирование функциональных узлов высокочастотной и сверхвысокочастотной электроники значительно отличается от построения обычных схем. Сложность разработки состоит в том, что поведение ВЧ/СВЧ принципиальной схемы определяется не только выбранными номиналами элементов цепей, но и дополнительными свойствами — добротностью, параметрами схемы замещения, температурной и временной стабильностью. Поэтому подбор и применение электронных компонентов, даже таких несложных, как конденсатор, имеет свою специфику. Рассматриваемая в настоящей статье пассивная керамическая ВЧ-продукция компании Johanson Technology характеризуется высокой добротностью и малыми потерями в широком температурном диапазоне и активно используется в беспроводных устройствах передачи данных.

Введение

Компания Johanson Technology, основанная в 1990 году (до 1993-го была подразделением компании Johanson Dielectrics), с момента своего создания специализируется на производстве пассивных элементов, используемых для построения всех основных узлов радиочастотных цепей сотовых телефонов, WLAN-, Bluetooth-, GPS-, CDMA2000-, UWB-, Wi-Max-, ZigBee-, Wi-Fi-модулей, оптоэлектронной аппаратуры и других ВЧ-устройств (рис. 1).

В числе клиентов компании такие известные на рынке беспроводной передачи данных производители, как Texas Instruments, Atmel, Analog Devices, Nordic Semiconductor, Qualcomm, Silicon Labs и многие другие [1]. Широкий ассортимент продукции включает высоко-

добротные многослойные и однослойные конденсаторы, керамические и проволочные чип индуктивности, антенны, высокочастотные и полосовые фильтры, а также широкий спектр интегральных устройств, изготовленных на основе LTCC-технологии (смесители, делители и сумматоры мощности, ответвители, коммутаторы, согласующие трансформаторы импедансов и т. д.). Помимо типовых решений доступна разработка на заказ, а использование современных компьютеризированных систем контроля процесса производства на всех стадиях позволяет получить высокое качество и повторяемость рабочих характеристик выпускаемых изделий [2].

Многослойные керамические конденсаторы (MLCC)

Многослойные керамические чип-конденсаторы (Multilayer Ceramic Capacitors, MLCC) имеют некоторые особенности, которые обеспечивают их широкое распространение практически во всех отраслях электроники. Среди таких особенностей можно отметить:

- высокую удельную емкость;
- широкий диапазон номинальных емкостей при заданном температурном коэффициенте;
- миниатюрные габариты (кроме высоковольтных конденсаторов);
- широкий диапазон доступных рабочих напряжений;
- низкое эквивалентное последовательное сопротивление (ESR);
- высокую частоту последовательного резонанса;
- стандартный набор типоразмеров, позволяющий легко использовать аналоги различных фирм-производителей;
- конструктивную возможность автоматизированного монтажа;
- высокую температурную стабильность, устойчивость к внешним факторам, хорошую механическую прочность;
- простоту технологии изготовления и, как следствие, дешевизну.

Множество различных факторов оказывает влияние на основные рабочие параметры конденсаторов. Определяющим является тип используемого диэлектрика. В MLCC-конденсаторах компании Johanson Technology применяется неорганический твердый диэлектрик типа NP0, обладающий низкой диэлектрической проницаемостью и хорошей температурной стабильностью (ТКЕ близок к нулю). Емкость конденсаторов с таким диэлектриком практически не зави-

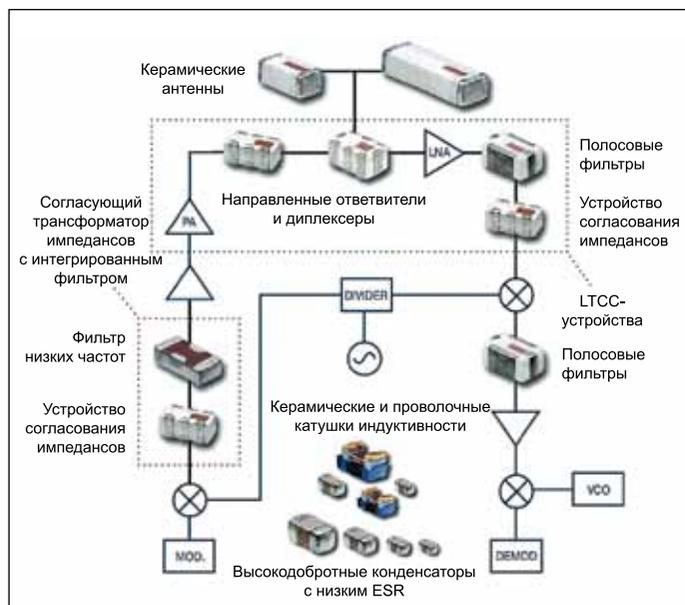


Рис. 1. Номенклатура продукции, выпускаемой компанией Johanson Technology

Таблица 1. Основные характеристики диэлектрика NP0

Температурный коэффициент емкости	$0 \pm 30 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ при $T = -55...+125^\circ\text{C}$
Добротность	> 1000 на 1 кГц (для $C > 1000 \text{ пФ}$)
	10000 (для $C < 1000 \text{ пФ}$)
Сопротивление изоляции	$> 100 \text{ ГОм}$ при $T = +25^\circ\text{C}$ и VVDC^*
Электрическая прочность	500 В при $U_{\text{раб.}} < 250\%$ от VVDC^* и $T = +25^\circ\text{C}$
	1000 В при $U_{\text{раб.}} < 150\%$ от VVDC^* и $T = +25^\circ\text{C}$
	$> 1500 \text{ В}$ при $U_{\text{раб.}} = \text{VVDC}^*$ и $T = +25^\circ\text{C}$

Примечание. *VVDC — Максимальное рабочее напряжение постоянного тока.

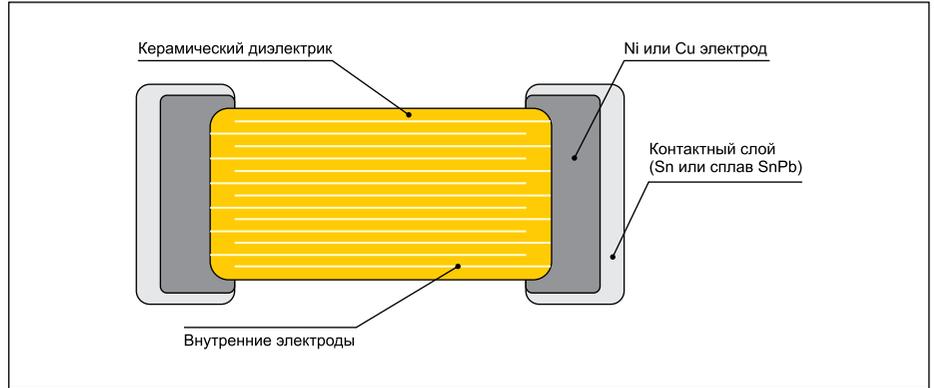


Рис. 2. Конструкция многослойного керамического конденсатора

сит от температуры, напряжения и длительности эксплуатации. В таблице 1 представлены характеристики диэлектрика NP0.

Процесс изготовления керамических конденсаторов предусматривает множество технологических операций и состоит из нескольких стадий. Определяющим для качества и срока службы конденсатора является строгое соблюдение технологии нанесения электродов. Многослойный керамический конденсатор представляет собой монолитную конструкцию из сплошного блока керамического диэлектрика с заключенной в нем электродной структурой и металлизированными торцами для подсоединения контактных поверхностей. Конструкция выводов имеет две составляющие: в зависимости от модификации барьерный слой никеля или меди и внешний контактный слой из олова или оловянно-свинцового сплава. Соединение внутренних электродов с внешними производится только с торцов. Внутренние электроды спрятаны внутри конденсатора, без выхода наружу (рис. 2). Такое исполнение обеспечивает возможность использования всех видов пайки, которые применяются в технологии поверхностного монтажа.

Многослойные керамические конденсаторы Johanson Technology, обладающие высо-

кой добротностью и низким эквивалентным сопротивлением, отлично подходят в качестве замены компонентов таких компаний, как ATC, AVX, Kemet, Murata, Panasonic, NXP, TDK и т. д. Они надежно функционируют в диапазоне температур $-55...+125^\circ\text{C}$ и обладают несколькими градациями точности: A ($\pm 0,05 \text{ пФ}$), B ($\pm 0,1 \text{ пФ}$), C ($\pm 0,25 \text{ пФ}$), D ($\pm 0,5 \text{ пФ}$) — до значения емкости $9,1 \text{ пФ}$ и F ($\pm 1\%$), G ($\pm 2\%$), J ($\pm 5\%$), K ($\pm 10\%$) выше этого номинала [3]. Изготовителем применяется условное подразделение на отдельные серии в зависимости от величины добротности и рабочих напряжений (табл. 2).

Различают конденсаторы S-серии (R07S, R14S, R15S) с ультравысокой добротностью, малогабаритные высокодобротные конденсаторы L-серии (R05L) и сверхвысокодобротные конденсаторы E-серии (S42E, S48E, S58E), предназначенные в основном для высоковольтных применений. S-серия с максимальным рабочим напряжением 250 В , используемая в прецизионных времязадающих цепях и фильтрах, выполняется в корпусах трех типоразмеров: 0402, 0603 и 0805. Конденсаторы L-серии с вертикальным и горизонтальным расположением

Таблица 2. Основные характеристики многослойных конденсаторов Johanson Technology

Серия	Типоразмер (по стандарту EIA)	Рабочее напряжение (max), В	Диапазон доступных емкостей, пФ	Тип диэлектрика
R05L	0201	25	0,2–100	NP0
R07S	0402	50–250	0,2–33	NP0
R14S	0603	250	0,2–100	NP0
R15S	0805	250	0,3–220	NP0
S42E	1111	50–500	0,2–1000	NP0
		500–1500	0,2–620	
S48E	2525	300–2500	0,5–2700	NP0
S58E	3838	500–3600	0,6–5100	NP0
		7200	0,6–180	

внутренних слоев ориентированы на СВЧ-устройства, частота их последовательного резонанса достигает 20 ГГц . E-серия с номинальным напряжением до 7200 В соответствует требованиям военных стандартов MIL-PRF-55681 и MIL-PRF-123, для получения большой электрической прочности толщина слоев диэлектрика увеличена. Помимо использования типовых корпусов с контактными площадками у данных элементов присутствуют модификации с проволочными или ленточными аксиальными или радиальными выводами (рис. 3).

Однослойные керамические конденсаторы

Еще одно семейство элементов Johanson Technology составляют низкопрофильные однослойные конденсаторы (SLC). Высокодобротные емкости квадратной или прямоугольной формы с размерами от $0,25 \times 0,25$ до $5 \times 5 \text{ мм}$ и номиналом от $0,1$ до 4000 пФ способны работать в диапазоне частот до 50 ГГц , поэтому они используются в оптических приложениях или, вместе с дополнительными MLCC-конденсаторами, в микросборках для сверхширокополосной связи. Конденсаторы, рассчитанные на рабочие напряжения 50 и 100 В , подразделяются на три серии в зависимости от способа нанесения металлизации на керамический диэлектрик: V, B и U (рис. 4).

Слой металлизации, формирующий контактные площадки, образуется комбинацией

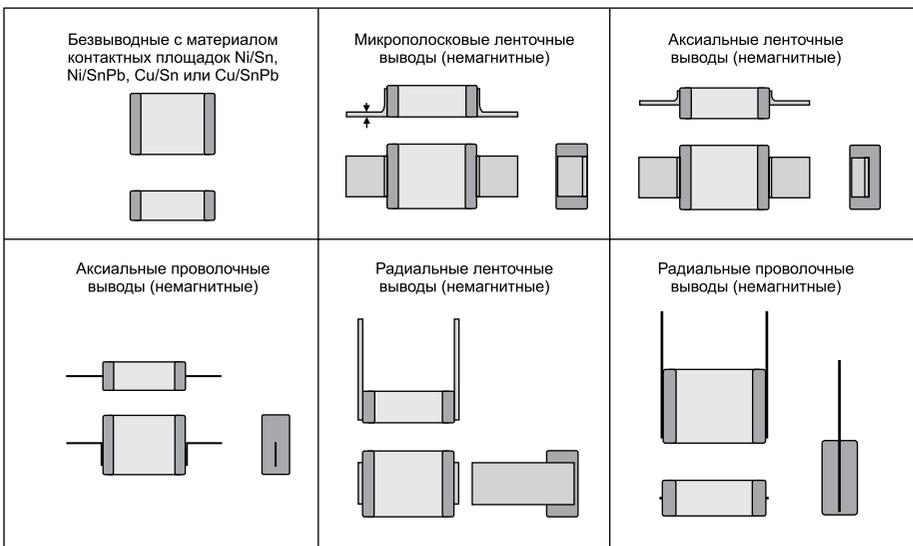


Рис. 3. Варианты корпусного исполнения конденсаторов S-серии

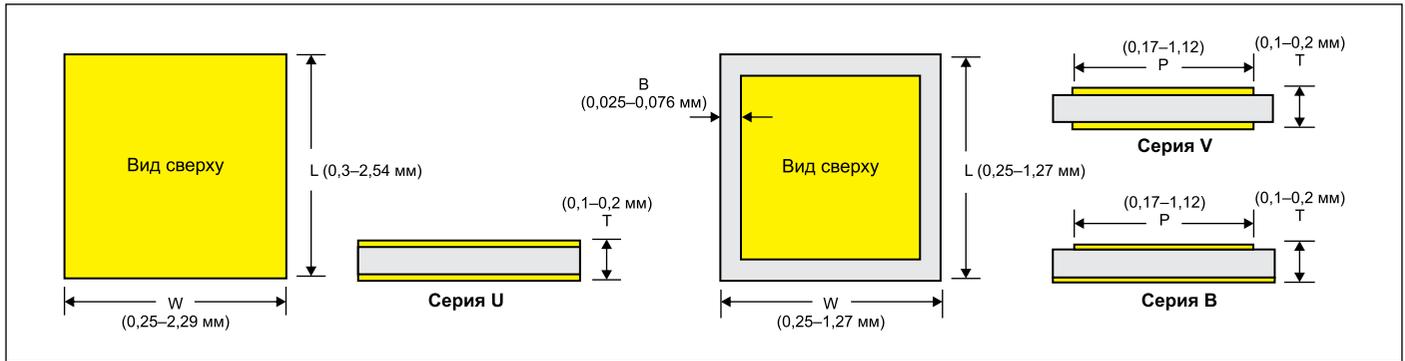


Рис. 4. Внешний вид серий SLC-конденсаторов Johanson Technology

Таблица 3. Характеристики диэлектриков однослойных конденсаторов Johanson Technology

Код диэлектрика	Диэлектрическая постоянная	ТКЕ	Температурный диапазон, °C	Тангенс угла потерь, %	Сопротивление изоляции, ГОм	Номинальная погрешность	
C	23	0...±30 ppm	-55...+125	<0,15 (f = 1 МГц)	> 1000	B, C, D (A <2 нФ)	
K	37	0...±30 ppm				B, C, D (A <2 нФ)	
N	80	0...±30 ppm		B, C, D (A <2 нФ, F-K >10 нФ)			
U	120	-750...±120 ppm		J, K			
V	160	-1500...±300 ppm		J, K			
R	280	-2200...±500 ppm		J, K			
L	350	-3300...±500 ppm		J, K, M			
D	600	±10%		<2,5 (f = 1 кГц)		> 100	K, M
B	1200	±10%					
W	2000	±15%					
X	2700	±15%					
T	4000	±15%					
Z	8000	+22%...-56%	+10...+85	<4 (f = 1 кГц)	> 10	M	
Y	12000	+22%...-82%	-30...+85				

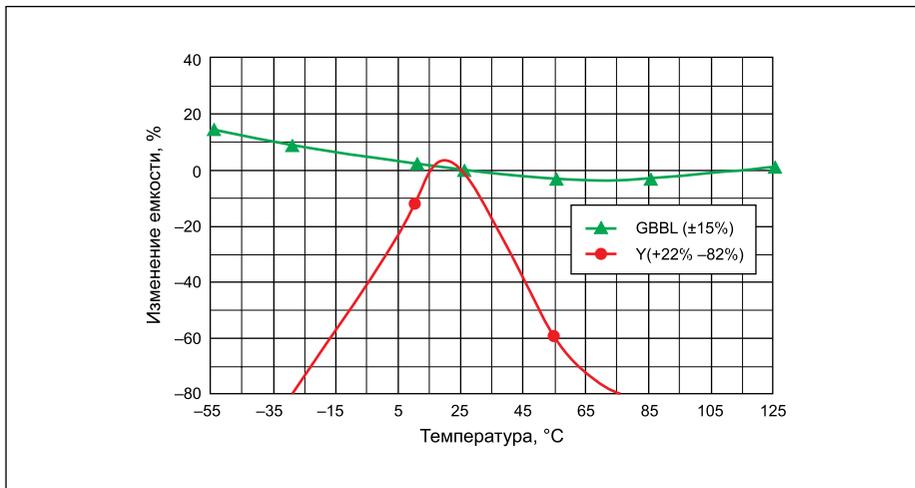


Рис. 5. Сравнение температурных коэффициентов конденсаторов SLC и GBBL-SLC

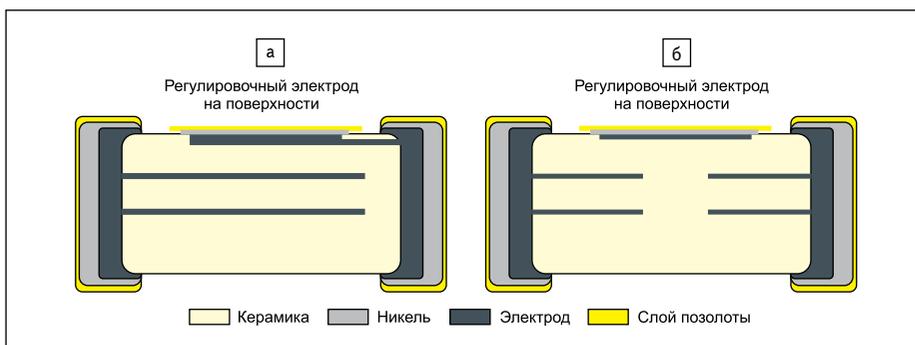


Рис. 6. Внутренняя структура конденсаторов: а) серий L14 и L15; б) серий L18 и L41

TiW/Au либо TiW/Ni/Au [4]. В пределах каждой серии доступны компоненты с диэлектриками 14 типов, их параметры представлены в таблице 3.

Характерная черта широкополосных однослойных конденсаторов серии GBBL — высокая удельная емкость и превосходная стабильность во всем диапазоне рабочих температур $-55...+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 5).

Серия GBBL изготавливается на основе собственной модификации диэлектрика типа X7R [5].

Запатентованный производственный процесс позволяет получить микроструктуру, представляющую собой комбинацию проводящих гранул и изолирующего барьерного слоя (GBBL), выступающего в качестве тонкого диэлектрика. Контроль толщины барьерного слоя и размеров проводящих гранул в сумме обеспечивает высокостабильное значение диэлектрической постоянной. Конденсаторы данного типа предназначены для рабочих напряжений 16, 25 или 50 В, тангенс угла потерь не превышает 0,025, а номинальная шкала емкостей составляет 68–3900 пФ.

Прецизионные конденсаторы, выпускаемые под торговой маркой LASERtrim, созданы для точной настройки радиочастотных цепей. Они используются в генераторах, фильтрах и антенных цепях сотовых телефонов, беспроводных точек доступа, считывателей RFID-меток и других портативных устройств. Лазерная подгонка номинала выполняется при помощи специальной станции, интегрированной в автоматизированный сборочный конвейер. Луч YAG-лазера под контролем компьютера удаляет необходимую для получения заданной емкости часть слоя металлизации на поверхности конденсатора. Мониторинг параметров цепи обратной связи гарантирует чрезвычайно высокую точность настройки. Структура конденсаторов данного типа показана на рис. 6.

Номинальные значения для разных моделей серий L14, L15, L18 и L41 составляют единицы и десятки пикофард, максимальное рабочее напряжение 50 В. Компоненты, доступные в стандартных чип-корпусах четырех типоразмеров: 0603, 0805, 1206 и 1210, подходят для автоматического монтажа.

Керамические и проволочные ВЧ-катушки индуктивности

Основные направления применения катушек индуктивности компании Johanson Technology — согласование импедансов в контурах высокочастотных цепей, получение резонансных схем и проектирование фильтров высокочастотных сигналов. Линейка продукции данного типа включает многослойные керамические (MLCI) и высокооборотные с проволочной намоткой катушки, отличающиеся, прежде всего, габаритными размерами (табл. 4). Они имеют высокую стабильность, точность и надежность [6].

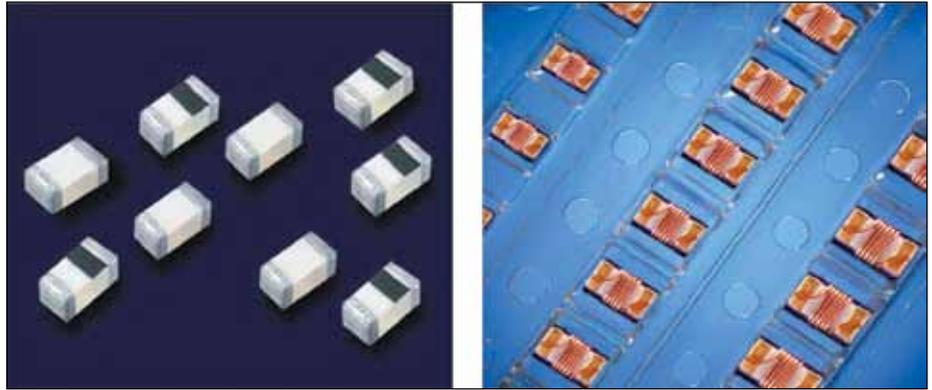


Рис. 7. Внешний вид керамических и проволочных катушек индуктивности компании Johanson Technology

Таблица 4. Основные параметры керамических катушек индуктивности компании Johanson Technology

Код размера	Типоразмер (по стандарту EIA)	Диапазон индуктивностей, нГн	Добротность (min)	Частота собственного резонанса, ГГц	Диапазон рабочих температур, °С
Керамические					
L-05	0201	0,6–39	4 (f = 100 МГц)	>21	–40... +125
L-07	0402	1–120	8 (f = 100 МГц)	>21	
L-14	0603	1–220	12 (f = 100 МГц)	>23	
С проволочной намоткой					
L-07	0402	1–120	55 (f = 900 МГц)	>11	–40... +125
L-14	0603	2–470	60 (f = 900 МГц)	>13	
L-15	0805	2,2–10 000	60 (f = 500 МГц)	>11	

Миниатюрные керамические индуктивности в типовых корпусах 0201, 0402 и 0603 с рабочим током от 100 до 300 мА могут принимать 50 различных номинальных значений из стандартного ряда в диапазоне 0,6–220 нГн. Проволочные обладают расширенным диапазоном доступных номиналов с максимальным значением 10 000 нГн и изготавливаются в корпусах для поверхностного монтажа типа 0402, 0603 и 0805, в качестве каркаса также используется керамика. В зависимости от модели погрешность значения индуктивности не превышает 0,2 нГн (лигера С в наименовании), 0,3 нГн (S), 2% (G), 5% (J) и 10% (K). Внешний вид катушек изображен на рис. 7.

ВЧ-устройства на основе LTCC-технологии

Компания Johanson Technology прилагает много усилий для создания элементной базы и функциональных устройств различного назначения, выполненных в виде трехмерных интегрированных структур на основе перспективной технологии низкотемпературной спеченной керамики (LTCC, Low Temperature Cofired Ceramic). Использование LTCC-подложек позволяет существенно расширить диапазон рабочих частот, увеличить степень интеграции, улучшить показатели надежности и массогабаритные характеристики вновь создаваемых средств передачи данных [7].

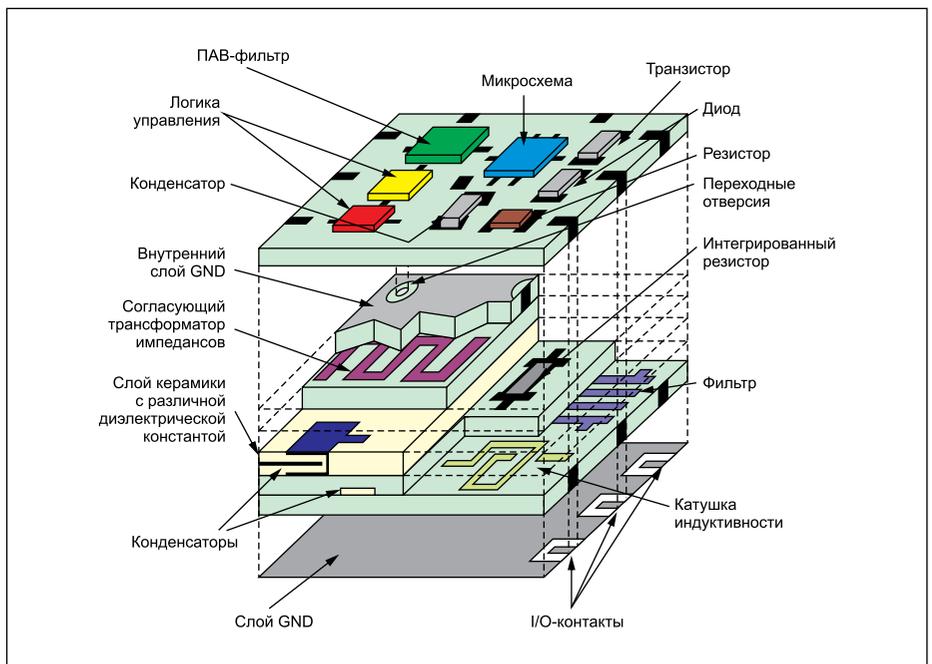


Рис. 8. Структура устройств на основе LTCC-технологии

Типичный модуль, выполненный по LTCC-технологии, представляет собой «бутерброд», состоящий из нескольких слоев керамического материала и запекаемый в печи обжига для фиксации многослойной структуры. Одним из основных отличий низкотемпературной керамики от высокотемпературной является спекание слоев при температуре ниже –1000 °С, что дает возможность работать с пастами на основе золота, серебра и меди, отличающимися малым удельным сопротивлением. Элементы схемы размещаются не на плоскости, а в объеме. Используя различные типы керамических материалов с разными диэлектрическими постоянными, можно интегрировать в схему не только стандартные пассивные компоненты, но и такие устройства, как ответвители, сумматоры, делители сигнала, фильтры и трансформаторы импедансов (рис. 8).

Разработанные устройства успешно применяются в аппаратуре передачи данных стандартов Bluetooth, 802.11 (a, b и g), WLAN,

GPS/ГЛОНАСС, GSM/3G/Wi-Max/LTE, ZigBee, фирменных ISM-протоколах и спутниковых системах (табл. 5).

Среди других особенностей можно отметить:

- малое значение коэффициента теплового расширения и высокую теплопроводность;
- герметичность. Плотная структура LTCC-керамики не пропускает влагу, она может использоваться в атмосфере с высокой влажностью без дополнительной защиты;
- механическую прочность конструкции в широком диапазоне температур;
- контролируемый импеданс цепей;
- высокую повторяемость параметров изделий;
- возможность организации массового производства с последующим изменением ключевых параметров.

Отдельного внимания заслуживают пассивные керамические чип-антенны. В настоящее время каталог компании содержит 46 малогабаритных моделей с диа-

Таблица 5. Виды LTCC-устройств компании Johanson Technology

Тип компонента	Кол-во моделей	Основные диапазоны рабочих частот, МГц	Краткое описание
Антенные переключатели	2	GSM850/900 и GSM1800/1900	Вносимые потери 1,2–1,9 дБ; обратные потери 10 дБ; изоляция Rx-Tx 21 дБ
Полосовые фильтры	56	900, 1400, 1900, 2450, 5500, 6100	Вносимые потери 1–4 дБ; обратные потери 7–19,4 дБ; корпуса от 0402 до 1812
Согласующие устройства («балуны»)	52	800–2000, 2000–2700, 3100–4800 и 4900 и более	Согласование импедансов линий 50/100, 50/50, 50/200, 50/75, 75/75, 50/150 Ом; вносимые потери 0,8–2; корпуса от 0603 до 1210
Заказные согласующие устройства («балуны») с интегрированным фильтром	23	433, 868/915, 953, 2450	Разработаны для конкретных моделей трансиверов известных производителей (Atmel, Infineon, TI, Analog Devices и т. д.)
Согласующие устройства («балуны») с интегрированным фильтром	18	863–928, 2300–2390, 2400–2500, 2300–2700, 3400–3600, 4900–5875	Согласование импедансов линий 50/100, 50/50, 50/150 Ом; обратные потери 9,5–11,7 дБ; корпуса от 0805 до 1008
Направленные ответвители	9	430–470, 824–915, 1710–1910, 2400–2500	В том числе два двухканальных; вносимые потери 0,2–0,74 дБ; обратные потери 14–20,8 дБ; изоляция 19–45 дБ
Направленные ответвители с ФНЧ	6	860–960, 1710–1785, 2400–2500, 4900–5850	Корпус 0805; вносимые потери 0,5–1,2 дБ; изоляция 22–30 дБ; обратные потери 14–20 дБ
Сплиттеры	3	850–910, 1560–1590, 1900–2000	Корпус 0805; вносимые потери 3,3 дБ; изоляция 16–20 дБ; обратные потери 10–14 дБ
Диплексеры	24	200–750, 900–1450, 1650–2200, 2400–2500, 5150–5850	Для устройств 802.11, Wi-Fi, WLAN, ISM, LTE, GSM, WCDMA; корпуса от 0603 до 1812; вносимые потери 0,5–3,9 дБ
Триплексеры	1	1560–5950	Для устройств GPS/GLONASS, Wi-Fi, 802.11, WLAN; вносимые потери 1 дБ
EMI-фильтры	1	400 (частота среза)	Ослабление в диапазоне 800–1000 МГц 20 дБ (min)
Фильтры высоких частот	6	1650–2150, 2400–2500, 3300–3800, 4900–5850	Корпуса от 0202 до 1210; ослабление сигнала 9–40 дБ; вносимые потери 0,6–2 дБ
Фильтры низких частот	23	824–915, 902–928, 900–1450, 1710–1910, 2400–2500, 3400–3700, 4900–5950	Корпуса от 0402 до 1210; ослабление сигнала 9–40 дБ; вносимые потери 0,5–2,5 дБ
Делители мощности	2	2400–2500	Корпус 0603; обратные потери 14 дБ; изоляция 20–25 дБ

пазонами рабочих частот 0,08–10 ГГц [8]. Изготавливаемые на базе LTCC-технологии устройства подходят для аппаратуры GSM, GPS, ISM, CDMA, TDMA и Bluetooth, а также могут успешно применяться в Wi-Fi, Wi-MAX-, UWB- и WLAN-приложениях (рис. 9). Несмотря на свои малые размеры, чип-антенны имеют хорошие электрические характеристики, стабильность которых определяется высококачественной керамикой. Температурный коэффициент не превышает 2 ppm/°C вплоть до максимальной температуры эксплуатации +125 °C. По требованию заказчика возможно тестирование на соответствие требованиям автомобильного стандарта AEC-Q200.

Кроме выпуска стандартизированной продукции компания Johanson Technology из-



Рис. 9. Пример применения керамической чип-антенны Johanson Technology

готавливает специализированные схемы, выполненные по спецификации заказчика. С помощью структуры, размещенной на требуемой подложке, можно легко формировать проводящие, резистивные, емкостные и прочие элементы схемы. Клиенту достаточно затем лишь установить остав-

шиеся дискретные элементы. Подобные решения используются там, где необходимо обеспечить высокую надежность устройства при минимальных размерах, например, в СВЧ-аппаратуре, оптических репитерах и т. д.

Техническая поддержка

На сайте компании Johanson Technology размещены подробные руководства по выбору компонентов, их согласованию, разработке посадочных мест на печатной плате, по технологии пайки и режимам хранения. Для сокращения времени разработки радиочастотных устройств инженеры нередко выполняют предварительную симуляцию ВЧ-цепей. Сделать обоснованный выбор компонента, подходящего для решения конкретной задачи, поможет бесплатный пакет программ для моделирования JTISoft, созданный компанией Johanson Technology (рис. 10). Графический интерфейс пользователя JTISoft состоит из двух программ: MLCsoft (для многослойных керамических конденсаторов шести типоразмеров) и MLlsoft (для многослойных керамических индуктивностей четырех типоразмеров).

В основном окне приложения отображается расширенный набор электрических параметров (частота последовательного и параллельного резонанса, эквивалентное последовательное сопротивление, добротность, эффективная емкость, S-параметры и т. д.), которые динамически изменяются при выборе пользователем номинала компонента с учетом желаемой точности, его размера и рабочей частоты в диапазоне от 200 МГц до 20 ГГц. Кроме того, доступно детальное графическое отображение значений основных характеристик в выбранном диапазоне частот. На двухмерных графиках с обычным или логарифмическим масштабом показаны S-параметры, импеданс,

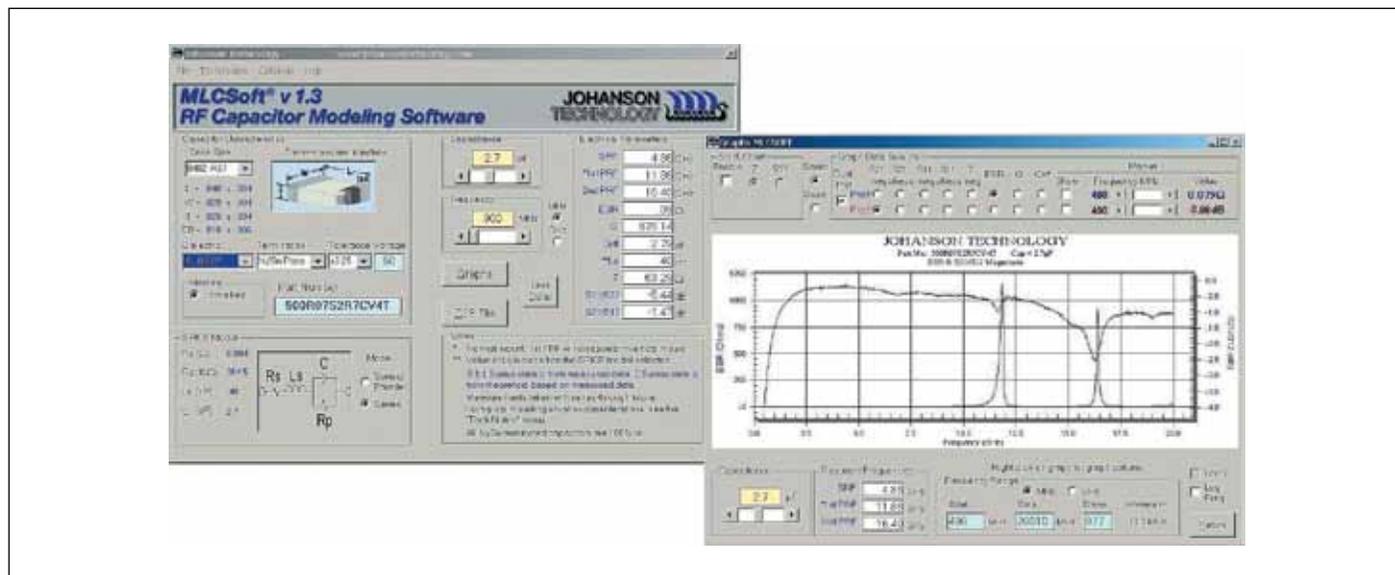


Рис. 10. Внешний вид основного окна программы MLCsoft и графическое представление зависимостей S21 и ESR от частоты

добротность, ESR, также возможно построение круговых диаграмм Смита, полученные графики экспортируются в формате BMP. Результатом моделирования являются: наименование компонента, удовлетворяющего заданным условиям, и его частотные зависимости, представленные в выходном формате S2P. Для моделирования работы также можно воспользоваться сторонним ПО, для этого на сайте производителя выложены специальные библиотечные файлы, подходящие для таких известных симуляторов, как Agilent ADS, AWR и Eagleware.

Для сокращения стоимости макетирования разработчики имеют возможность приобрести недорогие наборы (кассеты), содержащие ряд образцов конденсаторов, индуктивностей и других пассивных элементов, сгруппированных как по типу, так и по области применения. Например, L/C-805DS включает многослойные конденсаторы с емкостью из стандартного ряда от 4,7 до 220 пФ и проволочные высокодобротные индуктивности с номиналом в диапазоне 2,7–10 000 нГн, изготовленные в корпусах типоразмера 0805.

Набор 2450L/C402D помимо конденсаторов и индуктивностей типа 0402 содержит керамические антенны, фильтры и элементы согласования импедансов, рассчитанные на рабочую частоту 2,45 МГц. Всего в настоящее время существует 32 различных варианта комплектов.

Заключение

Требования рынка диктуют необходимость создания миниатюрных высокочастотных радиоэлектронных устройств, обладающих высочайшей надежностью и уникальными эксплуатационными характеристиками. Компания Johanson Technology предлагает широкую линейку пассивных керамических компонентов ВЧ- и СВЧ-диапазонов частот. Миниатюрные конденсаторы и катушки индуктивности, изготовленные на основе высокостабильного диэлектрика, а также интегрированные LTCC-элементы находят применение в устройствах GSM-, GPS-, ISM-, CDMA-, TDMA-, Bluetooth-, Wi-Fi- и Wi-MAX-стандартов связи. ■

Литература

1. Официальный сайт компании Johanson Technology. www.johansontechnology.com
2. High frequency ceramic solutions. Product catalog. www.johansontechnology.com/catalog
3. Multi-layer high-Q capacitors. Selection guide. www.johansontechnology.com/downloads/JTI-CAT-MLCC-HighQ.pdf
4. SLC microwave/millimeterwave capacitors. Datasheet. www.johansontechnology.com/downloads/JTI-CAT-SLC-STD.pdf
5. GBBL broadband single layer capacitor. Datasheet. www.johansontechnology.com/downloads/JTI-CAT-SLC-GBBL.pdf
6. RF ceramic chip inductors. Datasheet. www.johansontechnology.com/downloads/jti-cat-rf-ind.pdf
7. Перцель Я., Яковлев А. Преимущества использования технологии низкотемпературной керамики для реализации радиоэлектронных устройств // Современная электроника. 2012. № 8.
8. Ceramic chip antennas. Datasheet // www.johansontechnology.com/downloads/jti-cat-rf-ant.pdf