



# МЛО – НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ РЧ-УСТРОЙСТВ АВТОЭЛЕКТРОНИКИ, РАБОТАЮЩИХ В ТЯЖЕЛЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В статье обсуждаются характеристики некоторых семейств пассивных компонентов с высокими эксплуатационными характеристиками для применения на радиочастотах (РЧ) и сверхвысоких (СВЧ) частотах. Их характеристики сравниваются с характеристиками традиционных керамических элементов. Обсуждаются возможности диплексеров MLO™ при использовании в V2V-устройствах и их потенциальное влияние на производительность системы.

В 1999 г. Федеральное агентство по коммуникациям (FCC) выделило полосу 75 МГц на несущей частоте 5,9 ГГц для использования в автомобильной промышленности. С тех пор началась разработка средств связи для систем обмена данными «автомобиль–автомобиль» (V2V) и «автомобиль–инфраструктура» (V2I) с целью повышения эффективности движения и безопасности на дорогах. Предположительно, устройства V2V в сочетании с V2I будут в состоянии предотвращать происшествия на дорогах и помогать водителям реагировать на них соответствующим образом, а также сделают движение более эффективным за счет сокращения количества пробок.

Многие пассивные компоненты, используемые для автомобильной промышленности, проходят сертификацию по стандарту AEC-Q200. В первую очередь, это относится к элементам устройств, обеспечивающих безопасность автомобиля, таких как системы срабатывания подушек безопасности и антиблокировочные системы. Задачей устройств V2V и V2I является предотвращение аварий в тяжелых и постоянно меняющихся условиях работы транспортных средств.

Пассивные РЧ-компоненты, такие как конденсаторы, катушки индуктивности, резисторы и фильтры, должны обеспечивать высокую производительность высокочастотных (ВЧ) устройств, используемых на автотранспорте. Для производства радиочастотных компонентов чаще всего используется технология низкотемпературного

спекания керамики (LTCC), которая обеспечивает улучшенную примерно на 60% повторяемость параметров и достаточно хорошие технические характеристики. Новое поколение RF-элементов на основе органических материалов демонстрирует отличную производительность в ВЧ-и СВЧ-диапазонах при сохранении высокой надежности и хорошей повторяемости.

## Характеристики многослойных органических материалов MLO™

Компоненты MLO состоят из одного или более РЧ диэлектрических слоев, встроенных между другими слоями, которые обеспечивают трассировку, защиту и формирование выводов элементов, предназначенных для поверхностного монтажа (SMT). Технология MLO может также использоваться при производстве высокочастотных или широкополосных подложек, слои которых допускают размещение как радиочастотных, так и цифровых интегральных схем.

Возможны различные вариации этой технологии, например если требуется создать компоненты меньшей толщины. Диэлектрический слой должен иметь низкие потери на частотах беспроводных применений и в то же время обладать боль-

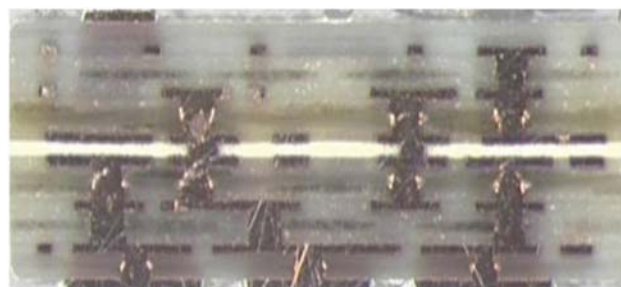


Рис. 1. Типовое поперечное сечение многослойного элемента MLO

шой диэлектрической проницаемостью ( $D_k$ ) для получения высокой плотности емкости. К сожалению, для большинства материалов эти требования являются противоречивыми.

Высокое значение  $D_k$  обычно получается путем наполнения полимеров диэлектрическими материалами, что может привести к увеличению потерь. Вследствие этого диэлектрические слои должны быть очень тонкими. В последнее время появился ряд материалов с малыми потерями на основе полимеров политетрафторэтилена (PTFE) и жидкокристаллических полимеров (LCP), покрытых медной пленкой толщиной 8 мкм. При производстве PTFE используются усовершенствованные наполнители, позволяющие повысить  $D_k$  без значительного увеличения потерь.

Полимеры LCP отличаются низким значением  $D_k$ , они имеют очень хорошие характеристики для широкого спектра радиочастотных и высокоскоростных применений. При тщательном выборе материалов для производства ламинированных структур и контактных слоев можно использовать стандартные многослойные технологии для изготовления высокопроизводительных RF-компонентов.

После завершения разработки металлические и диэлектрические слои протравливаются и ламинируются. Типовая шестислойная конструкция показана на рис. 1. Подобные заказные пассивные элементы имеют патентную защиту, они обеспечивают наивысшую плотность структуры и улучшенную функциональность. Чтобы достичь желаемой плотности структуры, размеры граней и объемов, не превышающие 15 мкм, могут быть получены с использованием полуаддитивных способов производства.

Внедрение лазерной технологии (Laser Direct Imaging, LDI) имеет первостепенное значение, так как она позволяет реализовывать структуры с тонкими геометрическими гранями и жесткими допусками. Как правило, они имеют вид резонансных структур со встроенными компонентами, которые должны быть воспроизведены с высокой точностью на большой площади. Явным преимуществом MLO по сравнению с технологиями на основе керамики и кремния (Si) является стоимость. Благодаря высокой плотности упаковки более 0,2 млн элементов типоразмера 0402 могут быть размещены на одной плате 18x24".

## Характеристики диплексера MLO

Диплексер – это пассивный элемент, состоящий из двух фильтров, объединенных по входу, и позволяющий выбрать диапазон выходных частот. Использование таких устройств, содержащих два фильтра в одном компактном корпусе, позволяет уменьшить размер антенного блока и сэкономить место на плате.

Диплексеры MLO являются уникальными по типу примененных при разработке материалов, а также конструкции и технологии производства. Изначально они создавались с использованием стандартных средств проектирования РЧ-устройств и затем оптимизировались с помощью специально разработанных методик для улучшения характеристик. Проектирование их структуры осуществлялось с помощью моделирования методом конечных элементов. Базовый вариант конструкции может варьироваться по размеру и диапазону частот путем простого линейного масштабирования элементов и/или повторного использования существующих параметров элементов. На рис. 2 показаны результаты измерений параметров двухдиапазонного MLO WLAN диплек-

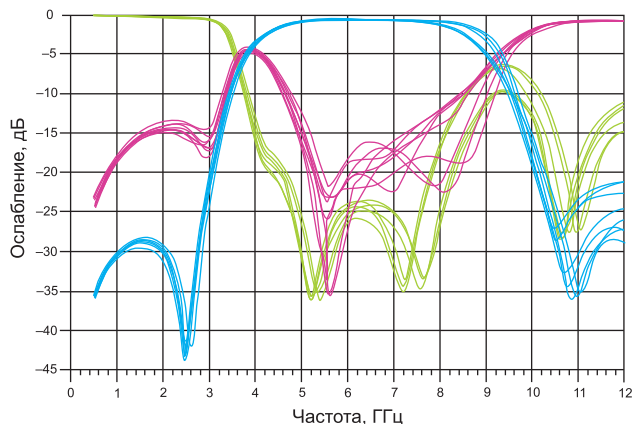


Рис. 2. Комплексный S-параметр, показывающий обратные потери антенны (красная кривая), ослабление в низкочастотной области (зеленая кривая), ослабление в области высоких частот (синяя кривая)

сера, все полученные характеристики относятся к компоненту типоразмера 0603.

Сравнение двух диплексеров типоразмера 0805 (один сделан с использованием технологии LTCC, другой – MLO) показывает явные эксплуатационные преимущества варианта MLO. Благодаря особенностям внутренней структуры диплексера MLO и описанным выше уникальным методам производства, подобное устройство может быть изготовлено с более тонким профилем (менее 0,6 мм против 1,0 мм для LTCC-диплексера). Кроме того, диплексер MLO отличается меньшим значением ослабления и более высоким уровнем подавления сигналов вне диапазона рабочих частот (табл. 1).

Таблица 1. Сравнительные характеристики диплексеров MLO и LTCC

Характеристики	AVX MLO Diplexer PN: DP05B5425TTR	LTCC Diplexer
Размеры, мм	2,0 x 1,25	2,0 x 1,25
Высота, мм	0,6	1
Объем, мм <sup>3</sup>	1,5	2,5
Диапазон частот (F1), МГц	2450±50	2400±100
Диапазон частот (F2), МГц	5425±525	5425±525
Ослабление (F1), гБ max	0,5	0,65
Ослабление (F2), гБ max	0,6	1,4
Затухание (F1) at (F2), гБ min	-22	-20
Затухание (F2) at (F1), гБ min	-20	-15
VSWR (Input at F1)	1,3	-
VSWR (Input at F2)	1,7	-

## Диплексеры MLO для связи на коротких дистанциях (DSRC)

DSRC-радиостанции используют диапазоны частот 5,9 ГГц и GPS для получения и передачи информации, необходимой для определения местоположения транспортного средства, а также передачи данных на окружающие автомобили и элементы инфраструктуры. По своей природе диплексеры состоят из двух фильтров, их использование позволяет уменьшить количество компонентов в DSRC-радиостанциях. Один диплексер может обеспечить работу GPS и 5,9 ГГц Wi-Fi-трансивера от одной антенны, тем самым устраняя необходимость в применении двух независимых дискретных фильтров (рис. 3).

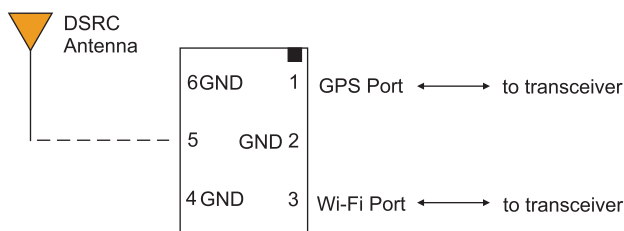


Рис. 3. Типовая схема включения диплексера

Как показывают тесты, по сравнению с керамическими диплексерами MLO имеют более высокую крутизну частотной характеристики и большую добротность. Эти устройства обеспечивают лучшую повторяемость и меньший разброс параметров при изготовлении. Коэффициент теплового расширения (КТР) диплексеров MLO хорошо согласован с КТР наиболее распространенных типов печатных плат (PCB) FR4, что способствует повышению надежности RF-устройств. При изменении температуры линейные размеры MLO-компонентов будут изменяться в том же соотношении, что и PCB FR4. Это исключает возникновение термомеханических нагрузок, которые могут стать причиной повреждения компонентов в процессе эксплуатации, сопровождающейся постоянными температурными колебаниями.

Показано, что тепловые характеристики диплексеров MLO являются оптимальными для применения в автомобильной промышленности. В обычный летний день температура в салоне припаркованного автомобиля способна превысить +50°C. Включение двигателя и кондиционера автомобиля и быстрое охлаждение салона до +25°C может вызвать тепловой стресс некоторых электронных компонентов. Вызванное изменениями температуры сжатие или расширение керамических компонентов, установленных на печатной плате, с течением времени способно вызвать проблемы с надежностью.

## MLO-конденсаторы и индуктивности

Таблица 2. Показатели DA различных диэлектриков

Dielectric Material	Dielectric Absorption (%)
MLO™	0,0015%
NPO Ceramic	0,6%
Stable	2,5%
High K Ceramic	N.A.
Ceramic Discs	Same as Multilayers
Internal Barrier Layer	N.A.
Reduced Titanates	N.A.
Multi-Layer Glass	0,05%
«Т» Characteristic	0,1%
«U» Characteristics	0,1%
«V» Characteristics	1,3%
Teflon	<0,01%
Mica	0,3–0,7%
Polyester	0,5%
Poly-Carbonate	0,35%
Poly-Propylene	0,05%
Polystyrene	0,05%
Solid Tantalums	N.A.
Aluminum Electrolytics	N.A.



Сергей Кузьмин,  
инженер по внедрению СВЧ-продукции,  
к.ф.-м.н., sergey.kuzmin@ptelectronics.ru

Традиционным применением для СВЧ-устройств в быту является связь. Все пользуются мобильным телефоном или Wi-Fi роутером, большинство имеет спутниковую телевизионную антенну... Сейчас наметилась тенденция увеличения рабочей частоты и расширения областей применения. Парктроник в автомобиле работает на частоте 24 ГГц, рассмотренная в статье система V2V – на частоте 5,9 ГГц, бытовой высокочастотный измеритель влажности – на частоте 10 ГГц.

Устройства и технологии, которые ранее использовались в специальной аппаратуре (спецсвязь, радиолокация) становятся доступны большинству рядовых пользователей.

При этом, как ни странно, требования по надежности, пригодности к серийному производству и цене в бытовой технике не менее жесткие, чем в специальной.

Компания AVX помогает нам в освоении новых областей применения для СВЧ-устройств в медицине, бытовой технике, автомобилях и других, пока еще не охваченных применениях, а после поглощения компании ATC она стала лидером на рынке пассивных СВЧ-устройств.



Технология	L(nH)	IDC(mA)	Q <sub>тип</sub>	SRF <sub>min</sub> (GHz)
MLO	68 max	875 max	30	>20
тонкопленочные	6,8 max	500 max	25	20
многослойная керамика	270 max	300 max	8	10
витые	120	1360 max	>25	12,7

Рис. 4. Сравнение различных технологий производства индуктивностей

MLO-технология также позволяет создавать другие компоненты, такие как конденсаторы, индуктивности, направленные ответвители и специализированные фильтры. Как и все MLO-структуры, пассивные элементы по КТР хорошо согласованы с большинством PCB FR4, что обеспечивает высокую надежность монтажа, поскольку их расширение и сжатие при изменении температуры соответствует характеристикам печатных плат FR4.

Как было показано, MLO-конденсаторы обладают крайне низким показателем диэлектрической абсорбции (DA), которая составляет примерно 0,0015%. Диэлектрическая абсорбция создает проблемы при работе устройств выборки/хранения (S/H). В течение времени хранения напряжение на накопительном конденсаторе S/H схемы должно поддерживаться на определенном уровне. Из-за наличия диэлектрической абсорбции это требование может нарушаться. В зависимости от продолжительности периода хранения, в течение которого накопительный конденсатор находится в разомкнутом режиме, он должен восстанавливать часть своего заряда, что приводит к искажению уровня выходного напряжения Vout S/H цепи [2]. С этой точки зрения к выбору конденсатора следует относиться очень ответственно, поскольку другие типы емкостей демонстрируют более высокий показатель DA (табл. 2).

Конденсаторы MLO тестируются в соответствии со стандартом MIL-STD-202F, который предусматривает 1000 ч испытаний при температуре +125 °C и удвоенном номинальном напряжении, а также температуре +85 °C при относительной влажности 85% и номинальном напряжении.

Дроссели, изготовленные с использованием MLO-технологии, отличаются высокой добротностью, большим значением предельного тока и меньшим разбросом параметров. В зависимости от размеров компонентов диапазон возможных значений индуктивности ограничен, что связано с особенностями конструкции MLO-компонентов. Для дросселя MLO типоразмера 0402 максимальный диапазон индуктивности составляет 0,8–68 нГн. Компоненты MLO демонстрируют высокую добротность, близкую к показателям стандартных витых керамических чип-дросселей аналогичного размера (рис. 4). Индуктивности MLO прошли испытания на электростатический разряд (ESD), который подтвердил их устойчивость к воздействию ESD напряжением 15 кВ.

## Заключение

Многослойные органические материалы (MLO) по своей природе обладают низким коэффициентом рассеяния и, соответственно, высокой добротностью, что делает их весьма

пригодными для ВЧ- и СВЧ-применений. MLO-технология позволяет использовать более толстые и широкие медные полоски и делать сквозные межслойные отверстия, которые действуют в качестве теплоотводов, что увеличивает нагрузочную способность компонента.

Для автотранспортных применений MLO-компоненты обеспечивают более высокую надежность, что связано с особенностями их характеристик, в том числе хорошим согласованием коэффициента теплового расширения с наиболее распространенными печатными платами FR4. Благодаря хорошему согласованию КТР могут быть скомпенсированы большие перепады температуры, свойственные автомобильным применениям, что устраняет необходимость в применении дорогостоящих сборок медь–инвар–медь.

Повышенная надежность MLO-компонентов по сравнению с керамическими аналогами связана с меньшей склонностью к растрескиванию и возникновению усталостных процессов благодаря нулевому рассогласованию тепловых характеристик. Кроме того, на печатной плате могут быть смонтированы большие по размеру (по сравнению с керамическими аналогами) MLO-компоненты без ухудшения показателей надежности. Они обладают лучшей, чем керамика, устойчивостью к воздействию повышенных вибраций, что также объясняется меньшим механическим стрессом, испытываемым сборкой MLO-элементов на печатной плате.



## Литература

1. White George, Ulrich Michael. Multilayer Organic (MLO) Technology for RF/Wireless Components in Multiband Applications. AVX Corporation. 2013.
2. Pease R. A. Understanding Capacitor Soakage to Optimize Analog Systems // EDN. October 13, 1982.
3. Analog Circuits. MT-090 Tutorial: Sample and Hold Amplifiers, <http://www.analog.com/static/imported-files/tutorials/MT-090.pdf>.