

ПЛОСКИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОМПОНЕНТЫ НА ФОЛЬГИРОВАННОМ ПОЛИИМИДЕ – МАЛЫЕ ГАБАРИТЫ, ОТЛИЧНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

А.Борисов, А.Любимов, В.Тимкин opteks2008@rambler.ru

Электромагнитные компоненты (ЭМК) – дроссели, трансформаторы – входят в состав практически любой радиоэлектронной аппаратуры. ЭМК, изготовленные по традиционной технологии (намотка провода на катушку), обычно характеризуются большими габаритами и массой, и очень часто (например, в случае вторичных источников питания) именно массогабаритные характеристики ЭМК определяют конечные размеры и массу изделия. Чтобы решить эту проблему, в ЗАО "НПП "ОПТЭК" разработана технология, которая позволяет изготавливать плоские малогабаритные ЭМК с улучшенными электрофизическими параметрами, высоким КПД и низким тепловыделением, пригодные для работы в составе компактной РЭА различного назначения.

При работе на высоких частотах на протяжении тока в ЭМК значительно влияют скин-эффекты и эффект близости. Это влияние, с одной стороны, приводит к тому, что большая часть объема проводника цилиндрической формы (провода) не участвует в переносе тока, а с другой, – увеличивается активное сопротивление, в результате чего снижается добротность устройства и возрастают потери. Поэтому ЭМК, изготовленные по традиционной технологии, на высоких частотах (порядка сотен кГц и выше) обладают низким КПД и, как следствие, высоким тепловыделением. В условиях высокой плотности компонентов, характерной для современной радиоаппаратуры, ЭМК, являясь локальными источниками интенсивного выделения тепла, создают дополнительные трудности для обеспечения нормального теплового режима электронной аппаратуры.

Эти проблемы могут быть успешно решены при использовании новой технологии изготовления обмоток ЭМК. По такой технологии обмотки изготавливаются в виде единой многослойной печатной платы. В этом случае проводник имеет прямоугольное сечение и, подбирая толщину, можно минимизировать влияние

скин-эффекта. Расположение витков первичной и вторичной обмоток в смежных слоях печатной платы снижает эффект близости, повышает коэффициент связи и, соответственно, КПД устройства. Кроме того, такая технология позволяет интегрировать ЭМК в общую для всего устройства многослойную коммутационную плату, что при использовании плоских магнитных сердечников дает возможность существенно снизить массогабаритные характеристики изделия [1-4].

Максимальный КПД достигается при использовании фольгированной полиимидной пленки, как основы для изготовления обмоток ЭМК в виде многослойной печатной платы. По сравнению с фольгированным стеклотекстолитом, традиционно применяемым в технологии печатных плат, фольгированный полиимид имеет ряд несомненных преимуществ (см. таблицу)

В ЗАО "НПП "ОПТЭК" разработана технология плоских малогабаритных ЭМК с высокими электрофизическими параметрами на основе двухстороннего и одностороннего фольгированного полиимида.

В качестве примера рассмотрим плоский малогабаритный трансформатор (рис.1) мощностью 100 Вт (в импульсе – до 300 Вт), предназначенный для

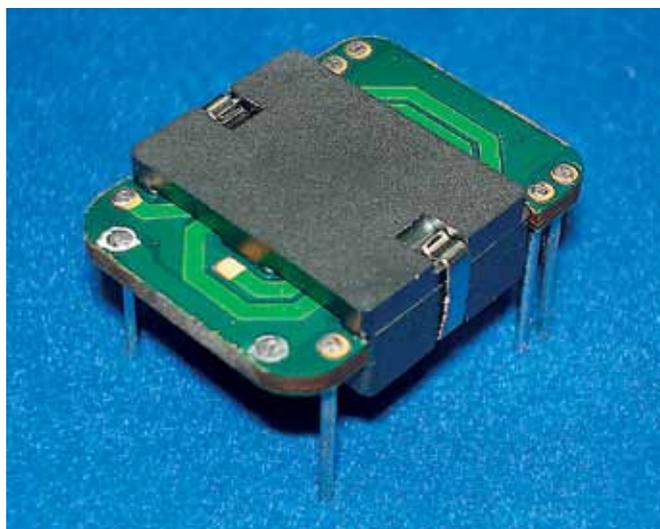


Рис.1. Плоский малогабаритный трансформатор на основе МПП из фольгированного полиимида

работы в составе вторичного DC-DC-источника питания с внутренней частотой преобразования сигнала 400 кГц [5, 6]. В конструкции трансформатора применен сердечник типа E+I 22/6/16 фирмы Epcos, выполненный из материала N87, который обеспечивает устойчивую работу прибора на высоких частотах.

Для изготовления обмоток трансформатора в качестве исходного выбран материал Pyralux AP-9112. Он представляет собой полиимидную пленку, ламинированную с двух сторон медной фольгой, имеет превосходные характеристики прочности, термо- и изломостойкости. Усилие отслаивания полоски меди шириной 3 мм от полиимида составляет не менее 38 Н, причем такая прочность сохраняется

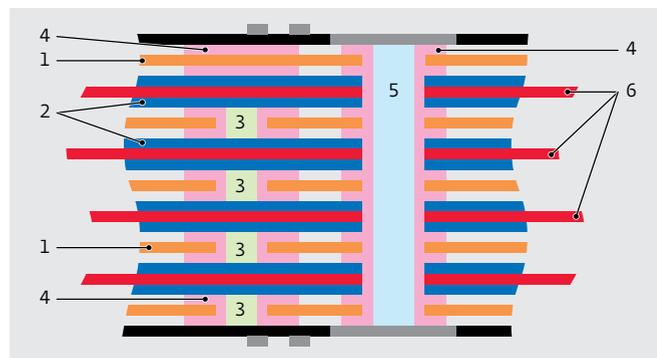


Рис.2. Поперечное сечение многослойной печатной платы обмотки трансформатора на фольгированном полиимиде: 1 – полиимидная пленка; 2 – слой препрега; 3 – внутреннее межслойное переходное отверстие; 4 – токопроводящие элементы; 5 – сквозное переходное отверстие; 6 – полиимидная пленка, межслойная изоляция

и при значительных температурных колебаниях, в том числе и при пайке. Толщина полиимидной основы – 25 мкм, толщина стеклотекстолита – не менее 100 мкм (см. таблицу).

Многослойная печатная плата, на которой сформированы первичная и вторичная обмотки трансформатора (рис.2), имеет дополнительный слой межслойной изоляции, в качестве которого используется полиимидная пленка [7]. Это позволяет, с одной стороны, значительно улучшить электрофизические параметры и надежность межслойной изоляции, а с другой, – уменьшить общую ее толщину, так как в этом случае требуется меньше прокладок полутвердевшей смолы (так называемого препрега), связывающих в процессе

Свойства фольгированного полиимида и стеклотекстолита

Параметры	Фольгированный материал	
	Стеклотекстолит FR-4	Полиимид Pyralux AP-9112
Поверхностное сопротивление, Ом/квадрат	10 ¹⁰	>10 ¹⁶
Объемное сопротивление, Ом·см	10 ¹²	10 ¹⁶
Диэлектрическая проницаемость на частоте 1 МГц	5,4	3,4
Тангенс угла диэлектрических потерь на частоте 1 МГц	0,035	0,003
Электрическая прочность, кВ/мм	1,18	>10
Стойкость к рентгеновскому и электромагнитному излучению	Низкая	Высокая
Прочность на отслоение медной фольги, Н/мм	1,45	1,6
Температура стеклования, °С	125	220
Минимальная толщина диэлектрика в составе печатной платы, мкм	≥100	25

термопрессовки отдельные слои в единую многослойную печатную плату.

В каждом слое печатной платы формируется один виток первичной или вторичной обмотки, причем витки могут соединяться последовательно, параллельно (при высокой токовой нагрузке) или параллельно-последовательно. В последнем случае при разном количестве витков в обмотках удается реализовать чередование слоев с витками, принадлежащими разным обмоткам.

Особенностью технологии изготовления обмоток на основе фольгированной полиимидной пленки, разработанной в ЗАО "НПП "ОПТЭКС", является использование процесса травления полиимида при формировании переходных отверстий. По сравнению с традиционно применяемым сверлением эта технология позволяет существенно уменьшить диаметр отверстий и, как следствие, – общую площадь печатной платы. Травление полиимидной пленки проводится через маску фоторезиста в щелочных растворах, содержащих моно- и триэтанолламин.

Сравнительно малая толщина полиимидной пленки дает возможность при изготовлении отдельных слоев печатной платы эффективно использовать гальваническое наращивание переходного отверстия металлом. В результате заметно (в пять и более раз) снижается контактное сопротивление в переходных отверстиях по сравнению с металлизацией их по традиционной технологии, что особенно важно при высоких токах в цепи обмоток.

При травлении полиимида до медной фольги на поверхности меди со стороны полиимида остается адгезионный слой, который наносится на поверхность полиимидной пленки в процессе формирования фольгированного полиимида. Его наличие препятствует качественному проведению операции гальванического наращивания переходных отверстий. Поэтому следы адгезионного слоя на поверхности меди в переходных отверстиях необходимо удалять. Для этого вскрытая поверхность меди со стороны полиимида обрабатывается в травителе, содержащем хромовый ангидрид, азотную и соляную кислоты. Противоположную поверхность медной фольги закрывают фоторезистивной маской.

Изготовленные по этой технологии трансформаторы мощностью 100 Вт характеризуются следующими параметрами:

Конструкция	планарная
Технология	
изготовления	групповая, фотолитография

Используемые материалы двухсторонний фольгированный полиимид

Высота, мм	8
Масса, г	14,5
Число витков первичной обмотки	12
Число витков вторичной обмотки	3
Средняя мощность на нагрузке, Вт	100
Импульсная мощность на нагрузке, Вт	до 300
Частота преобразования, кГц	до 500
КПД, %	не менее 98
Пробивное напряжение, В	>5000
Сопротивление изоляции между обмотками, Ом	$\geq 2 \cdot 10^6$

В качестве еще одного примера рассмотрим конструкцию и технологию изготовления малогабаритного планарного дросселя с использованием одностороннего фольгированного полиимида. Его обмотка представляет собой многослойную печатную плату (МПП), содержащую более 12 слоев. Если бы такая МПП изготавливалась по традиционной технологии на основе фольгированного стеклотекстолита, то ее толщина была бы в два раза больше. Кроме того, использование фотолитографии в сочетании с технологией химического травления полиимида в щелочных растворах позволило изготовить переходные отверстия размером не более 70 мкм.

В каждом слое печатной платы присутствуют витки и контактные узлы. Витки, расположенные в одном слое, являются продолжением витков, расположенных в других слоях, и соединены между собой контактными узлами. Контактный узел представляет собой совмещенные контактные площадки, которые расположены в соседних слоях. Одни контактные площадки изготовлены одновременно с витками обмотки, другие выполнены в окне, протравленном в полиимиде, путем гальванического осаждения меди и сплава олово-висмут.

Особенность рассматриваемой технологии – слои печатной платы соединяются между собой в пакет вакуумной пайкой за счет гальванически осажденного на контактных площадках сплава олово-висмут. Ферромагнитные сердечники вставляются в окна, которые формируются в соответствующем месте платы. Ниже приведены параметры плоского малогабаритного дросселя:

Ток, А	2–4
Индуктивность, мкГн	5±2
Сопротивление, мОм	35±3
Рабочая частота, кГц	500
Высота, мм	5,8
Масса, г	2,5

Благодаря выбранной конструкции и использованию планарной технологии малогабаритный планарный дроссель в отличие от дросселя с использованием обычных обмоток имеет следующие преимущества: уменьшаются габариты, масса, сопротивление обмоток; увеличиваются рабочая частота до 500 кГц и добротность. Также надо отметить высокую технологичность при сборке изделия, снижение трудоемкости монтажа, стоимости при серийном производстве и повышение надежности изделия.

Таким образом, разработанная в ЗАО "НПП "ОПТЭКС" технология позволяет изготавливать плоские малогабаритные ЭМК с улучшенными электрофизическими параметрами, высоким КПД и низким тепловыделением, пригодные для работы в составе компактной РЭА различного назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Andrey V. Lyubimov, Vasiliy V. Menshikov.** Working out of constructions and manufacturing techniques of flat small-sized electromagnetic components and sources of secondary power supplies on their basis for onboard space equipment//Space and Global Security of Humanity, Book of abstracts of the first specialized international symposium, Limassol, Cyprus, November 2-7, 2009, p.37.
2. **Шихов С.** Планарные трансформаторы на основе многослойных печатных плат. – Компоненты и технологии, 2003, №6, с.106-112.
3. **Макаров В., Рушихин А.** Применение планарных трансформаторов и плат на алюминиевой подложке в современных импульсных источниках электропитания. – Силовая электроника, 2004, №1, с.70-72.
4. Патент на полезную модель, № 86833, 2009. Многослойная печатная плата./Любимов В.К. и др.
5. Патент на полезную модель, № 81406, 2009. Многослойная печатная плата./Любимов В.К., Тимкин В.Н., Любимов А.В. и др.
6. Патент на полезную модель, № 94790, 2010. Плоский высокочастотный трансформатор./Любимов А.В., Тимкин В.Н. и др.
7. Патент на полезную модель № 60296, 2006. Плоский трансформатор./Любимов В.К., Тимкин В.Н., Любимов А.В.