

Применение планарных трансформаторов и плат

на алюминиевой подложке в современных импульсных источниках электропитания

Современные требования к снижению размеров и веса источников питания (ИП) вынуждают разработчика искать компромисс между его стоимостью и габаритами, добиваться снижения массы и повышения КПД. Очень многое уже сделано для миниатюризации ИП — созданы специализированные микросхемы управления, мощные ключи с низкими потерями и, казалось бы, до мелочей отработана конструкция.

Вячеслав Макаров,
к. т. н.

makarov@mmp-irbis.ru

Александр Рушихин

rushihin@ncab.ru

В то же время для трансформаторов и дросселей приходится применять классические компоненты с проволочной намоткой, которые за счет применяемого каркаса увеличивают массу и габариты источника питания.

Другая известная проблема — это традиционно высокое тепловыделение ИП, мощных ключей и силовых плат управления приводами электродвигателей — всех тех элементов радиоаппаратуры, которые мы называем силовой электроникой. К этому надо еще добавить высокие рабочие напряжения и потенциалы подобных устройств.

Однако современные технологии печатных плат, представленные на российском рынке совместной российско-шведской компанией «НКАБ-ЭРИКОН» и реализованные в серийном производстве российской компанией ММП «ИРБИС», позволяют повысить надежность и технологичность индуктивных элементов любого источника электропитания и отвести избыточное тепло.

Впервые разработанные в конце 80-х годов планарные трансформаторы (рис. 1) не получили широкого распространения из-за сложной технологии изготовления, которая остается непростой и в настоящее время.

Но постоянное совершенствование технологического процесса в последние годы позволило существенно снизить стоимость трансформаторов и дросселей и сделать их конкурентоспособными на современном рынке источников электропитания.

Их преимущества по сравнению с традиционными проволочными изделиями:

- малый вес — 15 г на 100 Вт мощности;
- особо высокая надежность;
- малая индуктивность рассеяния, низкие потери на высокой частоте;
- широкий рабочий диапазон частот: от 50 кГц до 1 МГц;

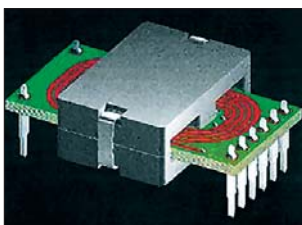


Рис. 1. Планарный трансформатор

- КПД более 98% и хорошее охлаждение конструкции позволяют передавать мощности от десятков ватт до единиц киловатт;
- рабочая температура от -40 до +130 °С;
- рабочие напряжения между обмотками более 1000 В;
- хорошая повторяемость параметров из-за применяемой технологии изготовления;
- возможность автоматизированной сборки;
- низкая высота трансформатора, совместимая с SMD-компонентами. При необходимости высоту можно уменьшить, применяя обмотки на полиимиде (рис. 2);
- возможность увеличивать мощность трансформатора, используя пакеты из обмоток (рис.3).

Сегодня использование планарных трансформаторов в единичных экземплярах остается нецелесообразным по соображениям их высокой стоимости. Но уже в партии эта стоимость становится приемлемой, а в серийном производстве — значительно ниже стоимости традиционных аналогов. При этом преимущества характеристик неоспоримы.

Используя открывшиеся перспективы, ММП «ИРБИС» разработало новую серию источников питания СМП150...СМП150 с использованием бес-

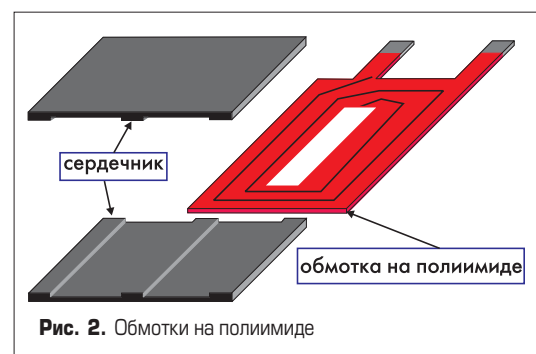


Рис. 2. Обмотки на полиимиде

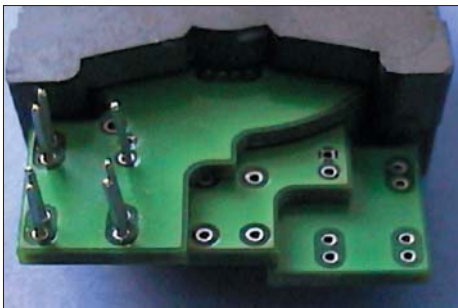


Рис. 3. Пакеты обмоток трансформатора

Таблица. Технические характеристики модулей питания СМП150...СМП150

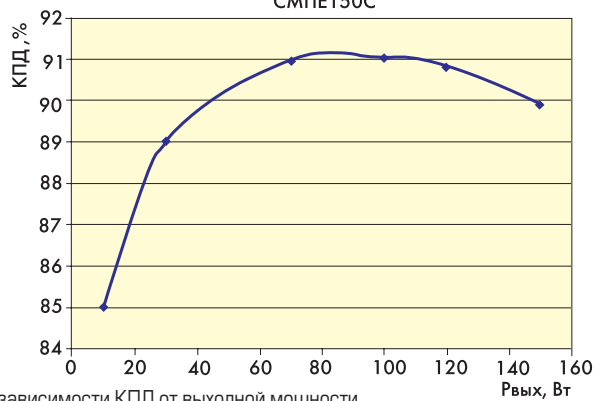
Вход			
Модуль питания	СМПА50	СМПВ100	СМПЕ150
Диапазон напряжений	9–18 В	18–36 В	36–72 В
Выход			
Выходная мощность	50 Вт	100 Вт	150 Вт
Выходное напряжение	3,3; 5; 6; 12; 15; 20; 24; 27 В		
Точность установки выходного напряжения	2%		
Диапазон изменения тока нагрузки	0 – I _{ном}		
Нестабильность U _{вых} от изменения тока нагрузки	±0,5%		
Нестабильность U _{вых} от изменения U _{вх}	±0,5%		
Регулировка выходного напряжения	±5%		
Порог срабатывания защиты от перегрузки по току и короткого замыкания, % от I _{ном}	105–140%		
Защита от перенапряжения на выходе	115–130% U _{вых,ном}		
Общие			
Рабочая частота	335 кГц		
Коэффициент полезного действия (типовой)	88–90%		
Пулсации выходного напряжения	≤150 мВ		
Электрическая прочность изоляции	Вход – Выход	1500 В	
	Вход – Корпус	1500 В	
	Выход – Корпус	500 В	
	Выход – Корпус	500 В	
Рабочая температура на корпусе	–40...+85 °С		
Диапазон срабатывания термозащиты	90–95 °С		
Масса	105 г		
Габаритные размеры	61×58×12,5 мм (half brick)		
Удельная мощность	3390 Вт/дм ³		

каркасных магнитных компонентов со следующими техническими и энергетическими характеристиками (см. таблицу, рис. 4).

Высокочастотный преобразователь напряжения (ВПН) данной серии модулей питания выполнен по двухтрансформаторной схеме, представленной на рис. 5.

Преимуществами такой схемы являются:

- «мягкое» переключение силовых транзисторов, отсутствие выбросов напряжения на них и как следствие — возможность использования более низковольтных транзисторов с меньшим R_{dson};
- полный цикл перемагничивания сердечника трансформатора (работа в первом и третьем квадрантах В-Н плоскости);
- широкий диапазон рабочих токов нагрузки от холостого хода до I_{нmax};
- высокий КПД.

Рис. 4. График зависимости КПД от выходной мощности для модуля СМПЕ150С (U_{вых} = 15 В) при U_{вх} = 48 В

Кроме того, в комбинированной схеме отсутствует выходной дроссель, его роль выполняет обратноточковой транс-дроссель T2, который по параметрам аналогичен прямоходовому трансформатору T1, что упрощает и унифицирует производственный процесс.

Трансформаторы T1 и T2 выполнены на планарных сердечниках ELP22 (материал N87), обмоткой служит многослойная печатная плата. Важными преимуществами планарных магнитных компонентов являются:

- малые размеры;
- малая индуктивность рассеяния;
- отличная повторяемость параметров;
- наилучшие свойства теплоотдачи.

Измерения рабочих параметров планарных трансформаторов с обмотками, выполненными на базе многослойной печатной платы, показывают, что тепловое сопротивление этих устройств значительно ниже по сравнению с обычными трансформаторами с проволочной обмоткой при том же эффективном объеме сердечника V_ε. Это обусловлено более высоким отношением площади поверхности сердечника к его объему. Таким образом, имея повышенную охлаждающую способность, планарные трансформаторы способны справляться с большей плотностью проходной мощности, при этом удерживая рост температуры в допустимых пределах.

По исходным данным, предоставленным специалистами компании ММП «ИРБИС», проектирование и изготовление многослойных печатных плат трансформаторов T1, T2 выпол-

нила российская фирма «НКАБ-ЭРИКОН». Витки первичной и вторичной обмоток располагаются в нескольких слоях печатной платы, в одном слое находится один виток. Между первичной и вторичной обмотками обеспечивается гальваническая развязка 1500 В.

Для таких плоских медных дорожек потери в меди на переменном токе, обусловленные скин-эффектом и эффектом близости, оказываются меньше, чем для круглого провода с той же площадью поперечного сечения. Однако, по возможности, необходимо исключить попадание витков обмотки в зону воздушного зазора, где индукция является максимальной и направлена перпендикулярно плоскости намотки.

Еще одним положительным моментом является то, что при расположении обмоток одна над другой улучшается магнитная связь и достигимы значения коэффициента связи, близкие к 100%.

Таким образом, практическое применение планарных трансформаторов с многослойными печатными платами (рис. 6) в сочетании с эффективной электрической схемой (рис. 5) подтвердили возможность получения высокой удельной мощности 3390 Вт/дм³ при габаритных размерах модуля питания 61×58×12,5 мм.

Рекомендуемые области применения:

- трансформаторы и дроссели в преобразователях различного типа;
- трансформаторы общепромышленного и военного назначения в изделиях повышенной надежности;
- оборудование, требующее применения низкопрофильных элементов для совмещения с SMD-компонентами, а также точного нормирования паразитных параметров трансформаторов и минимизации потерь в них;

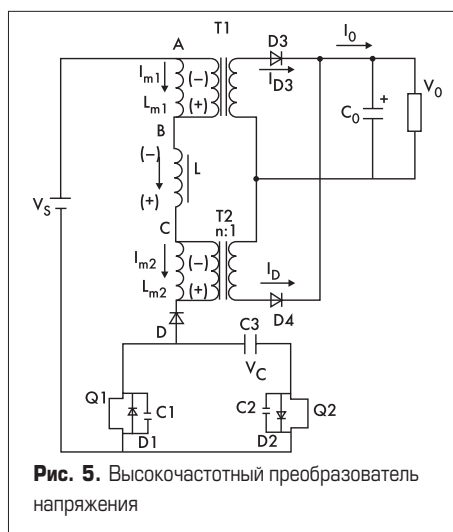


Рис. 5. Высокочастотный преобразователь напряжения

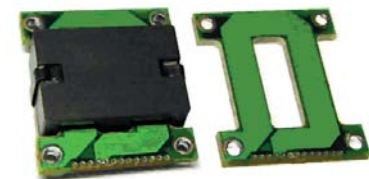


Рис. 6. Пример использования многослойной печатной платы в качестве обмотки трансформатора для модуля питания СМПЕ150С

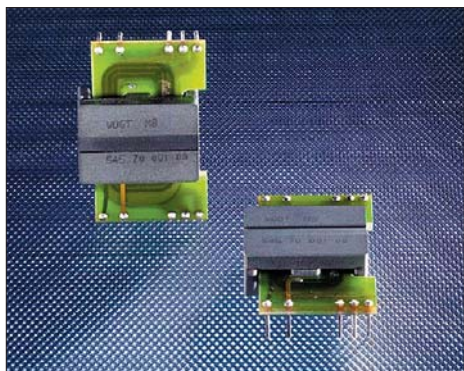


Рис. 7. Силовые трансформаторы общепромышленного и военного назначения

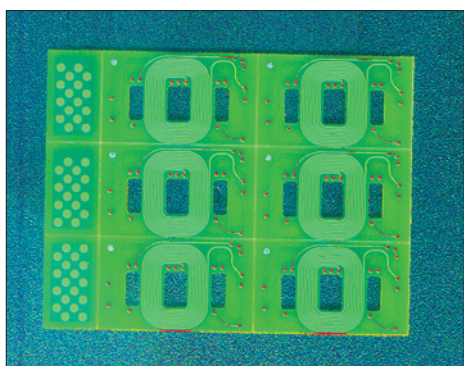


Рис. 8. Сигнальные трансформаторы телекоммуникационных систем

- силовые трансформаторы общепромышленного и военного назначения (рис.7);
- сигнальные трансформаторы телекоммуникационных систем (рис. 8).

Применяющиеся в силовой электронике для отвода тепла платы на алюминиевой подложке представляют собой конструкцию

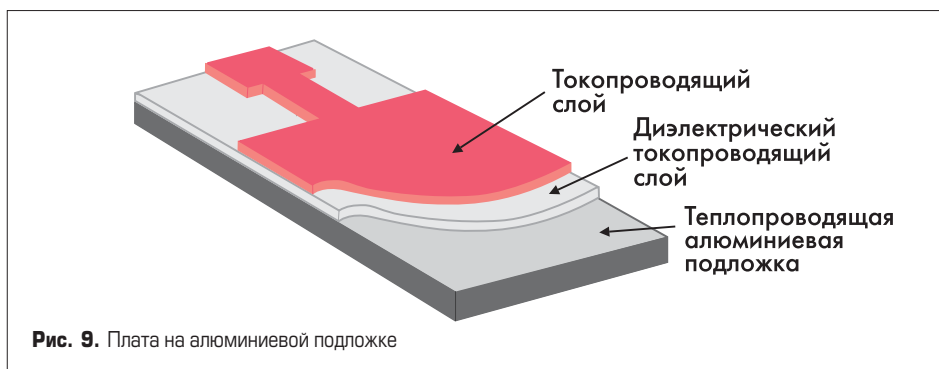


Рис. 9. Плата на алюминиевой подложке

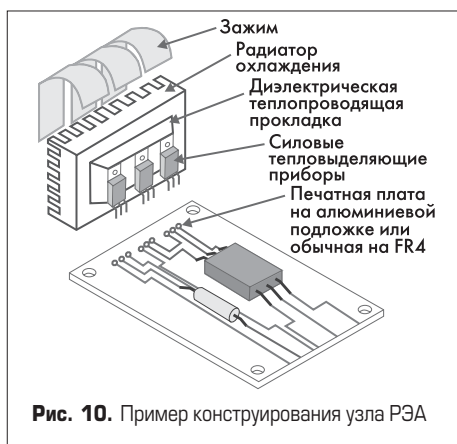


Рис. 10. Пример конструирования узла РЭА

(рис. 9) из теплоотводящей подложки, диэлектрика и слоя медной фольги. Конструкция может быть многослойной и иметь переходные отверстия. Теплоотводящая подложка обычно алюминиевая. Она существенно дешевле поликоровой или титановой ($Al + Ti_2O_3$) и может использоваться в массовом производстве. Кроме того, позволяет в несколько раз увеличить токовую нагрузку печатных проводников платы.

Диэлектрический слой при толщине 50–150 мкм обеспечивает пробивное напряжение 6–14 кВ и тепловую проводимость 1,1–2,2 кВт/(м²°С). Толщина медной фольги составляет 35–350 мкм. Технологический процесс изготовления этих печатных плат аналогичен техпроцессу для FR4, но имеет особенности проектирования, связанные с применением толстой фольги и традиционно высоким напряжением в силовых цепях.

На рис. 10 приведен пример конструирования узла РЭА с применением описанного диэлектрика.

Литература

1. Лукин А. В. Основы теории высокочастотных транзисторных преобразователей нового поколения с уменьшенными коммутационными потерями.
2. Mulder S.A. Application note on design of low profile high frequency transformers. Ferroxcube Components. 1990.
3. Жикленков Д. В., Макаров В. В. DC/DC-преобразователи открытого типа // Практическая силовая электроника. 2002. № 6.