

Применение планарных трансформаторов на основе многослойных печатных плат

Использование магнитной керамики (ферритов) в сочетании с высокой частотой преобразования энергии (мегагерцы) позволило уменьшить конфигурацию и габариты трансформаторов до плоской конструкции, встроенной в печатную плату (планарные трансформаторы). Преимущества трансформаторов с низкопрофильными сердечниками и обмотками, выполненными на основе многослойных печатных плат, сегодня очевидны для всех. Но сфера и разнообразие использования планарных трансформаторов настолько расширились, что возникла настоящая необходимость в систематизации их характеристик и конструкций.

Наталья Клестова

knv@ncabmsk.ru

Планарные индуктивные элементы могут найти применение практически в каждой области электроники, где существует потребность в индуктивных элементах.

Они могут быть использованы в любой аппаратуре, где необходимо преобразование энергии (силовые трансформаторы и дроссели) и согласование и развязка цепей в импульсных линиях передачи сигналов. Это телекоммуникационная, контрольно-измерительная аппаратура, модули питания.

Одна из тенденций развития электроники — уменьшение габаритных параметров изделий, что является очень важным для мобильных устройств, стоечной и портативной аппаратуры, имеющей ограничения по размерам.

При конструировании изделий чаще всего возникает проблема размещения индуктивных элементов, в основном это касается силовых модулей, где габариты трансформаторов и дросселей значительно превышают размеры всех прочих используемых элементов, особенно планарных компонентов.

Вот почему производители вынуждены были разработать высокочастотные низкопрофильные

ферриты, дающие существенные преимущества планарным индуктивным элементам. Планарные индуктивные элементы теперь представляют достойную и привлекательную замену традиционных индуктивных элементов с проволочной намоткой (рис. 1).

В преобразователе постоянного тока 25 Вт использована комбинация двух планарных ферритовых сердечников ER18. Описание и характеристики платы:

- материал платы FR4;
- количество слоев 6;
- обмотки трансформатора и выходного фильтра интегрированы в многослойную печатную плату;
- входное напряжение 36–72 В;
- максимальный входной ток 50 мА;
- максимальный выходной ток 620 мА;
- выходное напряжение 5 В $\pm 1\%$;
- минимальный выходной ток 0 А;
- максимальный выходной ток 5 А;
- частота преобразования 429 кГц;
- рабочая температура 25–50 °С;
- габариты платы в сборе 60×57×6 мм.

Типоразмеры сердечников зарубежного производства представлены на рынке в широком ассортименте. Рабочие частоты до 3–4 МГц, высокая магнитная проницаемость, высокая температура Кюри до 260–300 °С (что важно для автоматизированного монтажа), малая индуктивность утечки и малые потери в сердечниках.

По конструктивному исполнению планарные трансформаторы могут быть интегрированными, когда в плате устройства расположены все обмотки трансформатора (рис. 1); навесными, когда все обмотки выполнены в виде самостоятельной печатной платы (рис. 2), или гибридными, когда одна из обмоток, например, первичная, расположена в плате устройства, а остальные обмотки выполнены в виде самостоятельной печатной платы.

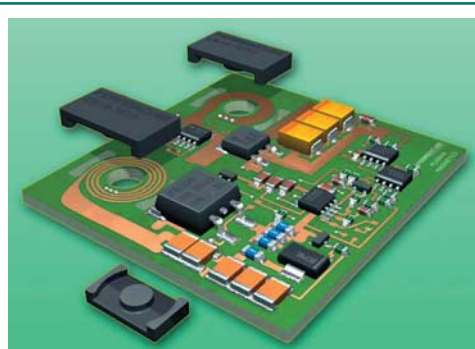
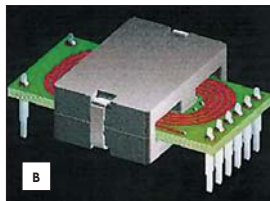
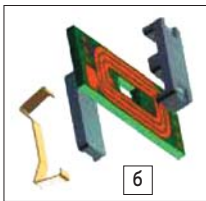
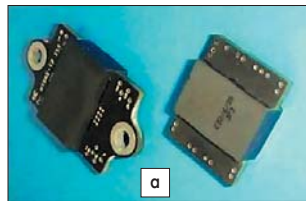


Рис. 1. Преобразователь постоянного тока 25 Вт


Рис. 2. Навесные трансформаторы

Привлекательность применения планарных трансформаторов объясняется тем, что это обеспечивает:

1. Уменьшение высоты при одинаковом эффективном объеме V_e трансформатора (табл. 1).
2. Уменьшение потерь в проводниках.

Потери в проводниках складываются из потерь по постоянному и по переменному току.

$$P_{Cu} = P_{DC} + P_{AC}$$

Но в плоских проводниках потери на вихревые токи, составляющие основную часть потерь в проводниках, меньше при том же сечении, чем в проводниках с проволоочной намоткой.

3. Улучшенные тепловые характеристики.

Рост температуры трансформатора зависит от отношения эффективного объема V_e , определяющего мощность, к эффективной площади A_e , определяющей площадь охлаждения

$$\Delta T = f(V_e / A_e).$$

Поскольку у планарных трансформаторов соотношение площадь/объем примерно в два раза больше, чем у традиционных, то и охлаждающая способность у планарных изделий примерно в два раза лучше. Это позволяет примерно вдвое увеличивать проходимую мощность при том же изменении температуры либо уменьшить эффективный объем, а значит, и массу при заданном росте температуры.

Обмотки такого трансформатора компактные, имеют большую площадь поверхности и тоже обладают лучшей теплопроводностью.

4. Высокие значения коэффициента связи обмоток.

При исполнении обмоток на печатной плате достигаются значения коэффициента связи обмоток $K_c \approx 1$, что приводит к более эффективному преобразованию энергии, так как обычно используется односекционная намотка с чередованием обмоток.

5. Высокая повторяемость параметров.

Высокая повторяемость параметров, в том числе паразитных параметров, связана с повторяемостью топологии обмоток, которая обеспечивается технологией производства печатных плат.

Повторяемость паразитных параметров (межобмоточная емкость при расположении витков первичной и вторичной обмоток друг над другом) позволяет учесть их в реализуемых схемах, что упрощает процесс настройки аппаратуры, или они могут быть использованы в создании резонансных устройств.

6. Надежность.

Надежность обеспечивается технологией производства печатных плат и при правильно спрое-

ктированной топологии исключает ошибки в намотке, изоляции, расположении выводов.

7. Простота и технологичность производства и сборки.

Поскольку планарный трансформатор состоит из готовой обмотки в виде печатной платы и ферритового сердечника, при производстве исключен процесс намотки на каркас, так как сама печатная плата является каркасом и изоляцией обмоток.

При проектировании обмоток на печатной плате используются те же материалы, что и для обычных печатных плат. Это обычно стеклотекстолит толщиной 0,2 мм или полиимид 0,125 мм и медная фольга толщиной 18, 35, 70 мкм. Могут использоваться и другие толщины.

Конструктивные требования проектирования обмоток те же самые, что и для проектирования любой печатной платы. Если требуется электрическая развязка вторичных и первичных цепей, то нужен стеклотекстолит толщиной 0,4 мм и зазор 0,4 мм между контуром печатной платы и проводниками обмоток.

В зависимости от конструктивного решения трансформатора (табл. 2) процесс сборки может быть ограничен одной операцией (скреплением двух сердечников путем склеивания или с использованием специальных зажимов). Сердечник может быть комбинацией

двух ER- (рис. 1) или двух E-сердечников (рис. 2в), или E-сердечника и пластины (рис. 2б).

Процесс установки навесных планарных трансформаторов и процесс сборки может быть автоматизирован, а трансформаторы с планарными выводами совместимы с SMD-технологией.

8. Низкая стоимость при серийном производстве.

При объеме заказа от 100 тыс. шт. в зависимости от размеров печатной платы и количества слоев стоимость может составлять 10 руб./шт.

Для уменьшения цены трансформатора могут использоваться пакеты печатных плат (рис. 3), так как это приводит к уменьшению количества слоев и к уменьшению размеров обмоток трансформатора из-за сокращения количества переходных отверстий на каждой печатной плате.


Рис. 3. Использование пакетов печатных плат в планарных трансформаторах

Хотя проектирование топологии обмоток индуктивных элементов имеет некоторые ограничения возможностей реализовать расчетное число витков обмоток из-за малых размеров окна намотки, все приведенные выше преимущества делают планарные индуктивные элементы привлекательными для применения в различной аппаратуре.

Таблица 1. Сравнительные характеристики ферритовых сердечников

Тип	Типоразмер	Объем $V_e, \text{мм}^3$	Длина $l_{cr}, \text{мм}$	Площадь $A_e, \text{мм}^2$	Коэффициент индуктивности $A_L, \text{мм}^{-1}$	Высота трансформатора $H, \text{мм}$	Высота окна намотки $h, \text{мм}$
Планарный	ER32/6/20-PLT32/20/3	4500	35,1	130	0,278	9	3,18
Традиционный	E-E/25/13/11	4500	57,5	78,4	0,733	26	8,7×2 = 17,4
Планарный	E-E/64/10/50	40 700	79,7	511	0,156	20	4,97×2 = 9,94
Традиционный	E-E/55/28/21	44 000	124	353	0,350	56	18,5×2 = 37

Таблица 2. Сравнительные характеристики конструктивных исполнений планарных индуктивных элементов

Вид конструкции	Навесной элемент	Гибридный элемент	Интегрированный элемент
Основное применение	Силовые трансформаторы и дроссели	Силовые трансформаторы и дроссели	Маломощные преобразователи Устройства обработки сигнала
Главное требование	Тепловые характеристики	Тепловые характеристики	Высокая частота и магнитная проницаемость
Характеристики	<ol style="list-style-type: none"> 1. Малая высота 2. Возможность использования в различных изделиях (самостоятельный элемент) 3. Используется многослойная печатная плата или пакеты печатных плат 4. Чаще используются два E-сердечника 5. Необходимость выводов 6. Необходимость пайки (штырьевые или планарные выводы) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Малая высота 2. Часть обмоток выполнена в материнской плате 3. Используется многослойная печатная плата или пакеты печатных плат 4. Чаще используются два E-сердечника 5. Необходимость выводов 6. Необходимость пайки (штырьевые или планарные выводы) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Малая высота 2. Все обмотки выполнены в многослойной печатной плате устройства 3. Возможность использования только в этой плате 4. Чаще используются комбинация E-сердечника и PLT-пластины 5. Отсутствие выводов 6. Не нужна пайка 7. Исключены ошибки
Ограничения	Малое отношение площадь сечения проводника/площадь окна намотки		