

Планарные трансформаторы Rayton Planar Magnetics

для малогабаритных высоконадежных применений

Группа компаний Rayton более 25 лет успешно занимается разработкой и производством высоконадежных электромагнитных компонентов, удовлетворяющих требованиям основных отраслевых стандартов. Подразделение Rayton Planar Magnetics специализируется на изготовлении широкого спектра устройств, выполненных по планарной технологии. В линейку продукции входят планарные трансформаторы мощностью от 5 Вт до 20 кВт, планарные дроссели с предварительно намагниченным сердечником, гибридные дроссели, работающие на высоких резонансных частотах, и дроссели-фильтры для ослабления синфазных помех. В статье рассматриваются преимущества применения и основные характеристики планарных трансформаторов Rayton, предназначенных для применения в телекоммуникационном и медицинском оборудовании, промышленных установках, автомобилестроении, а также в высоконадежной аппаратуре военного и авиационного назначения.

Константин Верхулевский

info@icquest.ru

Введение

Развитие устройств силовой электроники идет по пути уменьшения их габаритных размеров с одновременным увеличением эффективной мощности и рабочих частот. Разработчикам приходится применять элементы с минимальными размерами, это также касается электромагнитных пассивных компонентов (трансформаторов и дросселей), являющихся неотъемлемой частью любого импульсного источника питания (ИП). Поэтому все большую популярность приобретают именно планарные устройства, являющиеся привлекательной альтернативой стандартным решениям с проволочной намоткой на ферритовый сердечник. По оценкам специалистов, смена традиционной технологии построения силового трансформатора на новую планарную обеспечивает выигрыш до 60% по массо-габаритным параметрам, а с учетом остальных преимуществ можно с уверенностью предположить, что доля их на рынке электронных компонентов будет постоянно увеличиваться.

Принцип построения электромагнитных устройств по планарной технологии заключается в использовании отдельных многослойных ПП (МПП) или элементов трассировки в составе МПП, где роль обмоток обычных трансформаторов или дросселей выполняют дорожки на печатной плате (ПП) или участки меди, выполненные стандартным способом и разделенные слоями изоляционного материала [1]. Все слои размещаются друг над другом и удерживаются двумя частями малогабаритного ферритового сердечника (рис. 1). При

проектировании обмоток на ПП используются те же материалы, что и для обычных плат. Обычно это стеклотекстолит толщиной 0,2 мм (меняется в зависимости от параметров электрической развязки первичных и вторичных цепей) и медная фольга толщиной 18, 35 или 70 мкм.

Особенности и преимущества применения планарной технологии

По конструктивному исполнению все планарные индуктивные устройства подразделяются на несколько типов. Навесные компоненты, у которых все обмотки выполнены в виде самостоятельных ПП, можно использовать для замены обычных деталей на одно- и двухслойных платах (рис. 2а). Они позиционируются для применения в мощных преобразователях, поэтому основными конструктивными требованиями здесь являются тепловые характеристики. Для низкопрофильных применений погружение навесных компонентов в вырез платы позволяет уменьшить высоту сборки, не меняя при этом местоположения (рис. 2б). Малая высота делает планарные компоненты перспективными для применения в стоечном и портативном оборудовании. Гибридные компоненты уменьшают количество навесных обмоток за счет использования дорожек, разведенных на ПП проектируемого устройства. Навесные и встроенные обмотки соединяются между собой на материнской плате, необходимо только предусмотреть отверстие для размещения ферритового сердечника (рис. 2в).

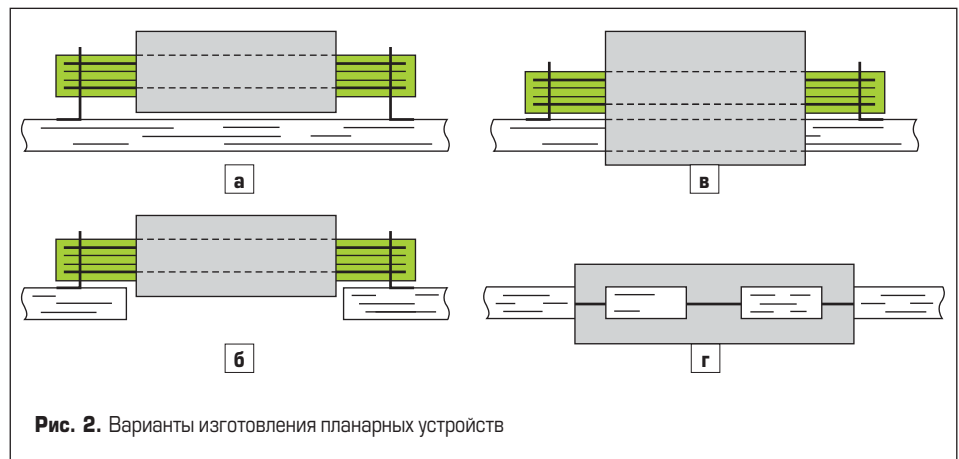
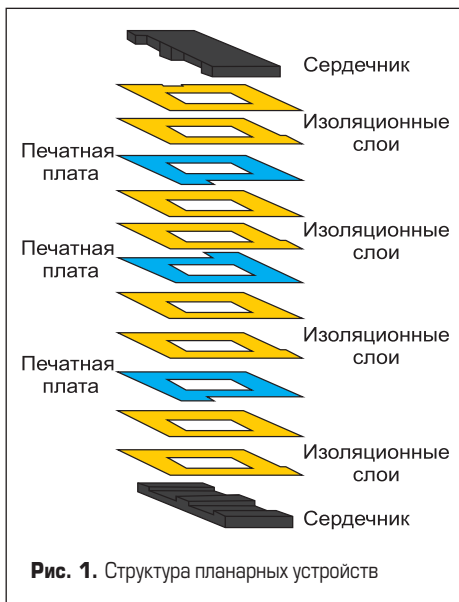


Рис. 2. Варианты изготовления планарных устройств

Наконец, в интегрированном варианте навесные обмотки вообще отсутствуют, вместо них используются витки, нанесенные на отдельные слои многослойных ПП (рис. 2г). Данный тип планарных компонентов предназначен, в основном, для применения в маломощных преобразователях и устройствах обработки сигналов [2]. Их основными конструктивными особенностями являются малая высота и хорошие высокочастотные характеристики. Типовые изделия, доступные на рынке электронных компонентов, относятся к первому типу.

Сборка магнитопровода планарных трансформаторов осуществляется путем склеивания или с использованием специального зажима. К преимуществам склеивания можно отнести фиксацию трансформатора на печатной плате, малую высоту сборки (не выступает дуга зажима), однородность поперечного сечения магнитопровода, меньшие размеры выреза в плате (для интегрированной версии), а также простоту автоматизации производства. Преимуществами зажимного крепления являются отсутствие проблем при использовании трансформатора в высокотемпературных приложениях и чистота процесса сборки.

Применение планарных устройств, помимо уменьшения габаритов, обеспечивает улучшение ряда ключевых параметров (таблица 1).

Чередование слоев с первичной и вторичной обмотками в планарном трансформаторе способствует образованию сильной магнитной связи и, как следствие, значительно повышению КПД (вплоть до 99%). Высокая эффектив-

ность в сочетании с возможностью внешнего охлаждения приводит к снижению внутренней температуры и значительно увеличивает надежность на отказ всей системы [2].

Хорошие тепловые характеристики обеспечивают весьма высокую плотность удельной мощности — в два раза большую, чем у обычных трансформаторов. Рост температуры трансформатора зависит от отношения $\Delta T = f(V_e/A_e)$, где V_e — эффективный объем, определяющий мощность, а A_e — эффективная площадь отвода тепла, определяющая площадь охлаждения. Поскольку у планарных трансформаторов соотношение площадь/объем примерно вдвое больше, то и охлаждающая способность у планарных изделий примерно в два раза лучше. Это позволяет примерно вдвое увеличить удельную мощность при том же изменении температуры либо уменьшить эффективный объем, а значит, и массу при заданном росте температуры. На практике для охлаждения можно использовать различные варианты: естественное, принудительное, односторонний и двухсторонний радиатор, жидкостное и т. д.

Следующая положительная черта планарных устройств — малый разброс значений электрических параметров от устройства к устройству. Трансформатор с проволочной обмоткой обладает большим разбросом характеристик, так как проволока в процессе намотки ложится на каркас неравномерно, что не может не влиять на параметры устройства (индуктивность, добротность и т. д.). Погрешности параметров планарного трансформатора при правильно спроектированной топологии в сотни раз меньше погрешностей традиционного трансформатора с проволочной обмоткой благодаря технологичности процесса производства многослойных ПП,

при котором четко контролируются геометрические размеры дорожек, и простоте сборки изделия. Нанесение обмоток печатным способом также обеспечивает низкую стоимость устройств при серийном выпуске.

Превосходная повторяемость величин паразитных параметров (межобмоточной емкости при расположении витков первичной и вторичной обмоток друг над другом) позволяет учесть их в реализуемых схемах, что упрощает процесс настройки аппаратуры. При расположении обмоток одна над другой магнитная связь является очень сильной, и достижимы значения коэффициента связи, близкие к 100% (рис. 3а). При использовании данной конструкции межобмоточная емкость максимальна. Эту емкость можно уменьшить, расположив дорожки соседних обмоток, как показано на рис. 3б. Более того, повторяемость значения емкости позволяет скомпенсировать ее в оставшейся части цепи, а также использовать при создании резонансных устройств. В последнем случае можно целенаправленно создать большую емкость путем размещения дорожек соседних обмоток друг напротив друга (рис. 3в).

Из других преимуществ можно отметить малую индуктивность рассеяния, благодаря которой уменьшаются скачки и колебания напряжения, являющиеся причиной выхода из строя МОП-компонентов в ИП и дополнительным источником помех. Также потери на переменном токе, обусловленные скин-эффектом, оказываются меньше для плоских



Рис. 3. Различные варианты конструкции обмоток

Таблица 1. Сравнение основных характеристик традиционных и планарных трансформаторов

Параметр	Планарные устройства	Намоточные устройства
Эффективность преобразования, %	До 99	90
Размер	Минимальная высота	Определяется особенностями намотки
Тепловое сопротивление, °C/Вт	Менее 0,5	10 (с воздушным охлаждением)
Вес, г (для 7-кВт устройства)	200	1000
Мощность, Вт	5–20000	Ограничена типом охлаждения
Повторяемость характеристик	Высокая	Зависит от намотки
Простота сборки	Высокая	Низкая

медных дорожек, чем для круглого провода с той же площадью поперечного сечения.

Планарные индуктивные элементы могут быть использованы в любой аппаратуре, где необходимо преобразование энергии (силовые трансформаторы и дроссели) и согласование, а также развязка цепей в импульсных линиях передачи сигналов. Планарные трансформаторы оптимально подходят для телекоммуникационных систем (широкополосные трансформаторы в ADSL- и HDSL-интерфейсах), аппаратуры оборонного назначения, авиационных бортовых систем, высокоэффективных силовых ИП, сварочных аппаратов, систем индукционного нагрева, преобразователей напряжения в электро-мобилях, зарядных устройствах — везде, где необходимы силовые трансформаторы с высоким КПД и малыми габаритами.

Типовые характеристики планарных трансформаторов Rayton

Компания Rayton производит широкую номенклатуру планарных трансформаторов мощностью от 5 Вт до 20 кВт, которая удовлетворяет всем требованиям клиентов и соответствует международным отраслевым стандартам [4]. Изначально разработчики компании Rayton ориентировались на производство трансформаторов только для импульсных ИП, для применения в сварочных аппаратах и системах индукционного нагрева. Однако сейчас, вследствие расширения спектра выпускаемых изделий, они рекомендованы практически для повсеместного применения.

Основная доля продукции компании связана с высоконадежными применениями, в частности, предназначена для разработ-



Рис. 4. Типы проводящих слоев, применяемые в планарных трансформаторах Rayton

ки аппаратуры автомобильного и оборонного назначения. Также компания Rayton является основным поставщиком планарных трансформаторов для ведущих компаний из США, Великобритании, Франции, Германии, Италии, Кореи, Китая, Австралии и Японии, выпускающих оборудование для авиакосмической отрасли промышленности. Производителем осуществляется сертификационное тестирование высоконадежных изделий на соответствие требованиям стандартов AS 9100, ISO 9001, ISO 14001 и TS16949. Возможно проведение ряда дополнительных испытаний по требованиям заказчиков, которые компания может выполнить в собственных лабораториях.

В основе всех планарных трансформаторов Rayton лежит запатентованная технология изготовления Planetics, позволяющая

кардинально уменьшить размеры и вес магнитных компонентов, одновременно повысить КПД и мощность, что позволяет сократить время, затрачиваемое на разработку, и уменьшить стоимость готовой продукции. В зависимости от мощности и назначения проектируемого трансформатора, проводящие слои выполняются при помощи медной фольги определенной формы, образующей один виток (рис. 4а), либо травлением нескольких плоских спиралей на поверхности ПП (рис. 4б). Слои объединяются последовательно или параллельно для получения заданных характеристик. Первый вариант подходит для низковольтных приложений с высокими уровнями рабочих токов, второй, наоборот, для высоковольтных устройств с низким током. Изоляционные слои различной толщины изготавливаются

Таблица 2. Основные характеристики заказных планарных трансформаторов Rayton

Типоразмер	Мощность, Вт	Максимальный ток, А	Максимальное рабочее напряжение, В	Диапазон рабочих частот, кГц	Диэлектрическая прочность, В (rms)	Вес, г (тип.)	Средние размеры, мм				
T14	5–15	10	100	100–2500	750	5	17,5×15×6				
T20	10–40					4–6	17,5×16×6,5				
T25	25–100	25	150		1000	7–10	21,5×19×7				
T40	25–140					10–14	23×20×9				
T50	50–400	50	400		4000	25	36,5×22×8,5				
T55	80–600					40	36,5×27×9				
T71	30–500	40	600			40	36,5×26×14				
T80	200–1000	100	500			5000	45	42×34×11			
T125	200–1400				50		60×32×19				
T130	100–1500	100	400		100–1000	4000	60	48,5×34×19			
T200	300–1000			70			60×38×14				
T250	500–2600			200			500	150	70×57×20		
T270	1000–10000			700			1000	300	110×47×22		
T500	500–5000			200			700	400	100×75×20		
T541	250–2100			150			500	90	61×43×24		
T551	500–3500			150			700	80–1000	200	73,5×65,5×21,5	
T564	1800–7500			800			1000	50–2000	500	82,5×77,5×30	
T1000	1000–10000			1000			1000	20–300	4000	500–1000	120×77,5×27,5
T5000	5000–20000									2000–3000	205×125×40

из тонкой лавсановой пленки и термостойкого полиамидного волокна [5]. Слоистая структура значительно увеличивает взаимосвязь между первичной и вторичной обмотками, что приводит к уменьшению индуктивности рассеяния и, тем самым, упрощает разработку ИП.

На сегодня Payton предлагает заказные и типовые планарные трансформаторы на заданную мощность [6]. Выбор заказного изделия можно осуществить из 18 семейств с типоразмерами от T14 до T5000, предназначенных для применения в промышленном, медицинском и телекоммуникационном оборудовании, в компьютерах и вычислительных устройствах, в измерительных и контрольных приборах, военной технике, авиации и системах безопасности. Компания предлагает трансформаторы с выводами для различных способов монтажа (поверхностного, сквозного на печатную плату, навесного, на кабель и т. д.). Плоские поверхности сердечников пригодны для автоматического монтажа. Основные характеристики заказных планарных трансформаторов Payton представлены в таблице 2, а внешний вид показан на рис. 5.

Отличительные особенности всех устройств Payton:

- диапазон рабочих частот от 20 кГц до 2,5 МГц;
- вес приблизительно 10 г на 100 Вт;
- типовое значение КПД 98–99%;
- индуктивность рассеяния менее 0,2% для сердечника с зазором;
- минимальный уровень электромагнитных помех;
- диапазон рабочих температур –55...+150 °С (для высоконадежных применений);
- диапазон мощностей 5 Вт – 25 кВт на каждое устройство при малых габаритах (используются от одной до семи обмоток);
- напряжение изоляции между первичной и вторичной обмотками до 5 кВ;
- превосходные тепловые характеристики;
- подходят для различных топологий импульсных ИП (мосты, полумосты, двухтактные, обратнотходовые, повышающие, понижающие, резонансные).

Маломощные низкопрофильные семейства трансформаторов типоразмеров от T14 до T40 предназначены, прежде всего, для применения в телекоммуникационном оборудовании и DC/DC-преобразователях. Это компактные устройства с максимальным рабочим током 25 А и диэлектрической прочностью изоляции между обмотками не более



Рис. 5. Внешний вид заказных планарных трансформаторов Payton

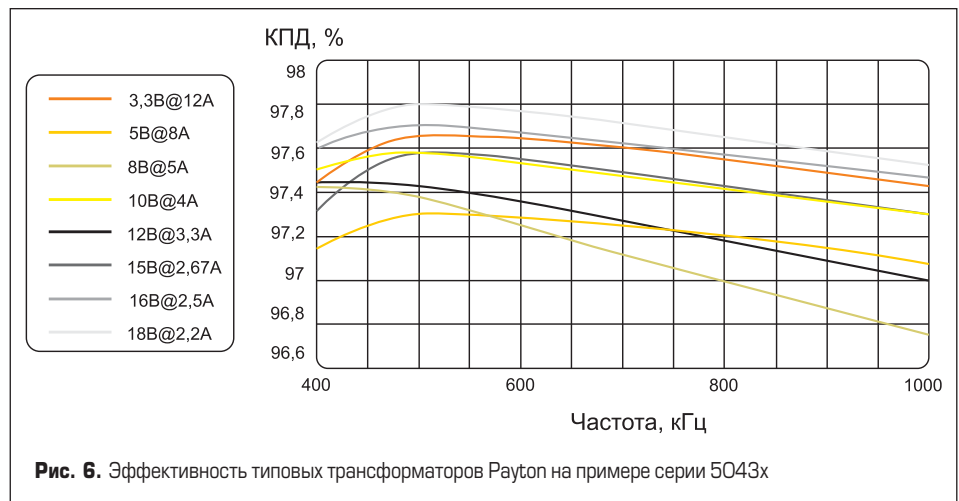


Рис. 6. Эффективность типовых трансформаторов Payton на примере серии 5043x

1500 В. Устройства средней и большой мощности (начиная с T50), позиционируемые для высоковольтных устройств, обладают повышенными показателями рабочих токов и напряжений, напряжение пробоя между обмотками достигает 5 кВ. Серия T5000, являющаяся старшим представителем семейств планарных трансформаторов, от-

личается самым низким тепловым сопротивлением (таблица 3).

Помимо заказных изделий, компания Payton предлагает типовые решения, рассчитанные на стандартные входные и выходные напряжения (таблица 4). Они также обладают высоким КПД в широком диапазоне рабочих частот (рис. 6), низким уровнем элек-

Таблица 3. Тепловое сопротивление трансформаторов T5000 в зависимости от типа охлаждения

Тип охлаждения	Естественное	Принудительное воздушное (3 м/с)	Радиатор с одной стороны	Радиатор с двух сторон
Тепловое сопротивление, °С/Вт	1,7	1,3	1,6	0,8

Таблица 4. Основные характеристики типовых планарных трансформаторов Payton

Наименование	Диапазон входных напряжений, В	Выходные напряжения, В	Мощность, Вт	Диапазон рабочих частот, кГц	Диэлектрическая прочность, В (rms)	Индуктивность рассеяния, мкГн (макс.)	Размеры, мм (макс.)
50430/1/2/3/4	36–75	3,3; 5; 8; 10; 12; 15; 16; 18	40	400–1000	1800	0,5	18,8×15,2×6,6
50465/6/7/8/9	18–36	1,2; 1,5; 2,5; 3,3; 5; 8; 10; 12; 15; 16; 18	100	300–500		0,1–0,15	23,5×21,1×7,4
50460/1/2/3/4	36–75	16; 18				0,25–0,8	23,5×20,1×7,4
50807	18–36	9				0,15	23,5×21,1×7,4
755000/1/2/3	18–36	2,5; 3,5; 5, 7	350	200–400	1500	0,06–0,27	30×25×14,5
755004/5/6/7	36–72	2,1; 3,5; 6,5				0,15–0,55	



Рис. 7. Внешний вид типовых планарных трансформаторов Payton

тромагнитных шумов и предназначены для применения в устройствах с жесткими требованиями к габаритам. Корпусное исполнение подходит для поверхностного монтажа (рис. 7). Трансформаторы 50430/1/2/3/4 с входным диапазоном 36–75 В содержат 12 витков первичной обмотки и от 2 до 10 во вторичной, величина емкости между обмотками составляет 130–150 пФ. В зависимости от конкретного изделия выходные напряжения принимают значения 3,3, 5, 8, 10, 12, 15, 16 и 18 В, максимальный рабочий ток не превышает 12 А.

Устройства 50465/6/7/8/9 рассчитаны на более низкий диапазон входных на-

пряжений 18–36 В. В этом ряду нужно отметить планарный трансформатор 50465 с коэффициентом трансформации 6:1:1, отличающийся наличием двух вторичных обмоток и сопротивлением по постоянному току не более 0,5 мОм. Максимальная величина емкости между первичной и вторичной обмотками не превышает 250 пФ. Отличительной чертой остальных представителей серии 5046х являются входные напряжения от 36 до 75 В и количество витков в первичной обмотке, увеличенное до 12. Серия 75500х характеризуется очень низким уровнем индуктивности рассеяния (от 0,06 мкГн), каждый компонент имеет несколько вариантов корпусного исполнения.

Заключение

Широкое распространение планарных компонентов связано с очевидными преимуществами их применения при решении разнообразных задач. Высокий КПД наряду с малыми габаритными размерами, превосходные тепловые характеристики, широкий диапазон мощностей, стабильность технических характеристик — все это привлекает производителей силовых ИП, систем индукционного нагрева, сварочных аппаратов и т. д. Тенденция удешевления производства многослойных

ПП делает планарные трансформаторы все более доступными и позволяет сделать вывод, что их доля на рынке электромагнитных компонентов в дальнейшем будет только увеличиваться.

Литература

1. Шихов С. Планарные трансформаторы на основе многослойных печатных плат // Компоненты и технологии. 2003. № 6.
2. Application note. Using planar transformers in soft switching DC/DC power converters. // www.paytongroup.com/webfiles/files/2%20Using%20Planar%20Transformers%20%28Payton%E2%80%99s%20PN%2050636%29in%20soft%20switching%20DC%20DC.pdf
3. Клестова Н. Применение планарных трансформаторов на основе многослойных печатных плат // Технологии в электронной промышленности. 2006. № 4.
4. Слабухин А. Планарные устройства компании Payton. // Силовая электроника. 2005. № 2.
5. Ben-Yaakov S. The benefits of planar magnetic in HF power conversion // <http://www.paytongroup.com/webfiles/files/Benefits%20of%20Planar.pdf>
6. Products catalogue. Planar transformers. 2015. www.paytongroup.com/Payton_Full_Catalog