

# Планарные трансформаторы

## на основе многослойных печатных плат

Постоянное уменьшение габаритов изделий электроники, особенно мобильных устройств, приводит к тому, что разработчикам приходится применять компоненты с минимальными размерами. Для полупроводниковых компонентов, а также пассивных, таких, как резисторы и конденсаторы, выбор достаточно велик и разнообразен. Мы же рассмотрим малогабаритную замену еще одним пассивным элементом — трансформаторам и дросселям. В большинстве случаев разработчики используют стандартные трансформаторы и дроссели с проволочной намоткой. Мы же рассмотрим преимущества планарных трансформаторов (ПТ) на основе многослойных печатных плат. Стоимость многослойных печатных плат постоянно снижается, поэтому планарные трансформаторы станут хорошей заменой обычным.

**Сергей Шихов**

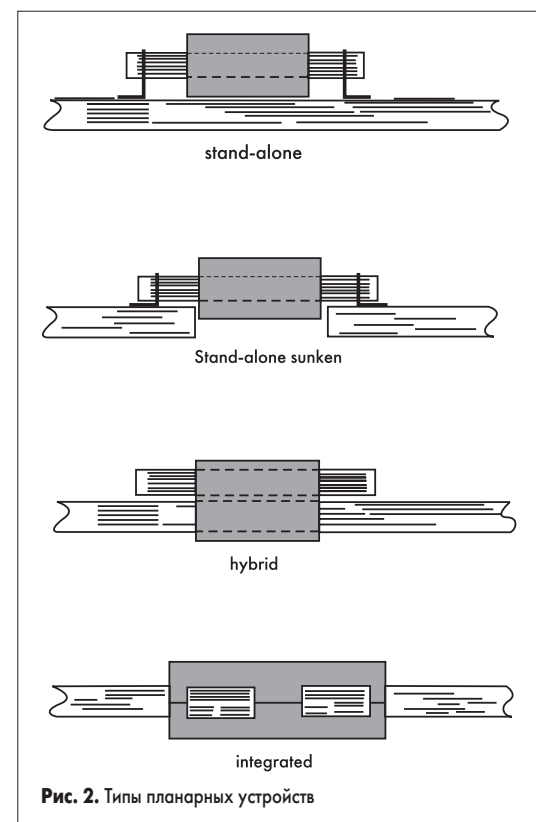
support@npf-abris.ru

Планарные трансформаторы являют собой привлекательную альтернативу обычным трансформаторам в случаях, когда требуются малоразмерные магнитные компоненты. При планарной технологии изготовления индуктивных компонентов роль обмоток могут выполнять дорожки на печатной плате или участки меди, нанесенные печатным способом и разделенные слоями изоляционного материала, а кроме того, обмотки могут конструироваться из многослойных печатных плат. Эти обмотки помещаются между малоразмерными ферритовыми сердечни-

ками. По своей конструкции планарные компоненты делятся на несколько типов. Ближе всего к обычным индуктивным компонентам стоят навесные планарные компоненты, которые можно использовать вместо обычных деталей на одно- и многослойных печатных платах. Высоту навесного компонента можно уменьшить, погружив сердечник в вырез печатной платы так, чтобы обмотка легла на поверхность платы. Шаг вперед пред-



**Рис. 1.** Вид планарных трансформаторов с Ш-образным сердечником



**Рис. 2.** Типы планарных устройств

Таблица 1. Преимущества при разработке

Свойство	Навесные компоненты	Интегрированные компоненты
<b>Механические характеристики</b>		
Очень малые размеры	x	xx
Компактная и жесткая конструкция	x	xx
<b>Электрические характеристики</b>		
Малая величина скин-эффекта и эффекта близости для плоских медных дорожек	x	x
Высокий коэффициент связи плотно расположенных обмоток трансформатора	x	xx
Великолепная повторяемость благодаря фиксированному расположению обмотки	x	x
<b>Тепловые характеристики</b>		
Большое отношение площади поверхности сердечника (охлаждение) к его объему	x	x
Компактная обмотка с хорошей теплопроводностью	x	x
Большая площадь поверхности обмотки, обеспечивающая хороший контакт с радиатором	x	x

Таблица 2. Преимущества при производстве

Свойство	Навесные компоненты	Интегрированные компоненты
<b>Интеграция производственного процесса</b>		
Не нужен каркас	x	x
Не нужны отдельные обмотки		x
Не нужны выводы		x
Независимость от сборщика компонентов		x
<b>Возможности производства</b>		
Отсутствие операции намотки	x	x
Отсутствие операции пайки		x
Совместимость с SMT-технологией	x	x
<b>Надежность</b>		
Отсутствие ошибок намотки и коротких замыканий	x	x
Отсутствие проблемы холодной пайки		x

Таблица 3. Ограничения

Свойство	Навесные компоненты	Интегрированные компоненты
<b>Общие</b>		
Только для многослойных печатных плат		x
Большая стоимость планарной обмотки по сравнению с проволочной <sup>(1)</sup>	x	
От сборки платы требуется знание особенностей разработки и производства		x
Каждая конструкция требует собственной обмотки, изготовленной фабричным способом	x	xx
<b>Разработка</b>		
Малое отношение площади поперечного сечения медной дорожки к площади окна	x	xx
Паразитная емкость ограничивает конструктивные варианты расположения обмоток	x	xx
Варианты с большим воздушным зазором являются нежелательными	x	x

<sup>(1)</sup> Стоимость многослойных печатных плат снижается. Общие затраты: не нужен каркас, меньший размер сердечника.

ставляет собой гибридный тип, где часть обмоток встроена в материнскую плату, а часть находится на отдельной многослойной печатной плате, которая соединена с материнской. Материнская плата должна иметь отверстия для ферритового сердечника. Наконец, у последнего типа планарных компонентов обмотка полностью интегрирована в многослойную печатную плату.

Как и в случае обычных компонентов с проволочной обмоткой, половинки сердечников можно соединить путем склеивания или с помощью зажима, в зависимости от возможностей и предпочтений производителя. Компания FERROXCUBE предлагает широкий ассортимент планарных Ш-образных сердечников для различных применений.

**Преимущества планарной технологии**

Планарная технология изготовления магнитных компонентов имеет ряд преимуществ по сравнению с обычной проволочной намоткой. Первым очевидным преимуществом является весьма малая высота, которая делает планарные компоненты перспективными для применения в стойном и портативном оборудовании с высокой плотностью монтажа.

Планарные магнитные компоненты хорошо подходят для разработки высокоэффективных импульсных преобразователей мощности. Малая величина потерь меди на переменном токе и высокий коэффициент связи обеспечивают более эффективное преобразование. Благодаря малой индуктивности рассеяния уменьшаются скачки и колебания напряжения, являющиеся причиной выхода из строя МОП-компонентов и дополнительным источником помех.

Хорошие тепловые характеристики обеспечивают весьма высокую плотность проходной мощности — в два раза большую, чем у обычных трансформаторов. Превосходная повторяемость величин паразитных параметров позволяет достигать высоких частот переключения и создавать резонансные схемы. Сердечники изготавливаются из феррита 3F4 и рассчитаны на резонансные частоты до 3 МГц.

Планарная технология проста и надежна в производстве. В таблицах 1–3 описываются преимущества и ограничения этой технологии.

**Интегрированные компоненты в сравнении с навесными**

Интегрированные планарные компоненты применяются в тех случаях, когда сложность

окружающих цепей вынуждает использовать многослойную печатную плату. Типичные области применения — маломощные преобразователи и устройства обработки сигналов. В них используется в основном комбинация Ш-образного сердечника и пластины малых размеров. Основными конструктивными требованиями здесь являются малая высота и хорошие высокочастотные характеристики.

• Навесные компоненты используются иначе. Типичные области применения — мощные преобразователи; в них в основном используется комбинация из двух Ш-образных сердечников большого размера. Основными конструктивными требованиями здесь являются тепловые характеристики. Конструкция обмотки зависит, в частности, от величины тока.

Погружение навесных компонентов в плату позволяет уменьшить высоту сборки, не меняя расположения компонентов.

Гибридные компоненты уменьшают количество навесных обмоток за счет дорожек на печатной плате, а в интегрированном варианте навесные обмотки вообще отсутствуют. Возможны также комбинации этих двух типов. Например, преобразователь мощности может иметь первичную обмотку трансформатора и дроссель сетевого фильтра, встроенные в материнскую плату, а вторичную обмотку и выходной дроссель — на отдельных печатных платах (рис. 3).

**Склеивание в сравнении с зажимным соединением**

Выбор между склеиванием и зажимным соединением зависит в основном от возможностей и предпочтений производителя, но есть также требования конкретного приложения, которые могут определить тот или иной способ как более желательный.

- **Преимущества склеивания**
  - Простота автоматизации производства.
  - Однородность поперечного сечения сердечника (насыщение).
  - Малая высота сборки (не выступает дуга зажима).
  - Меньшие размеры выреза в печатной плате (интегрированная версия).
  - Фиксация сердечника на печатной плате (отсутствует дребезг, шум).
- **Преимущества зажимного соединения**
  - Чистота процесса сборки.
  - Отсутствует влияние окружающей среды на процесс сборки.
  - Нет проблем в высокотемпературных приложениях.
  - Отсутствует увеличение паразитного зазора (высокая проникаемость).

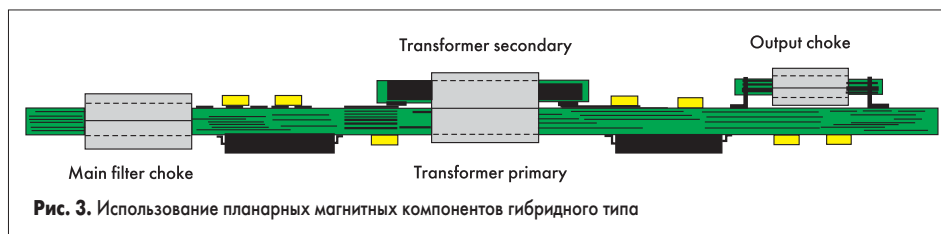


Рис. 3. Использование планарных магнитных компонентов гибридного типа

**Применение**

Первой областью применения планарных трансформаторов было преобразование мощности. Соответственно, при этом использовались средне- и высокочастотные мощные ферриты. Индуктивность дросселя сетевого фильтра можно увеличить, заменив мощный феррит материалом с высокой магнитной проницаемостью. В импульсной передаче сигналов широкополосный трансформатор, находящийся между импульсной генераторной ИС и кабелем, обеспечивает развязку и согласование импедансов. В случае S- или T-интерфейса это также должен быть феррит с высокой магнитной проницаемостью. В ассортимент продукции компании FERROXCUBE были добавлены сердечники из высокопроницаемого феррита 3Е6. Список приложений, в которых использование планарной технологии может дать преимущества, приведен ниже.

**Преобразование мощности**

- **Компоненты**
  - Силовые трансформаторы, выходные или резонансные дроссели, дроссели сетевого фильтра.
- **Выпрямители (сетевые источники питания)**
  - Импульсные источники питания.
  - Зарядные устройства (мобильные телефоны, портативные компьютеры).
  - Контрольно-измерительная аппаратура.
- **Преобразователи постоянного тока**
  - Модули преобразования мощности.
  - Сетевые коммутаторы.
  - Мобильные телефоны (основной источник питания).
  - Портативные компьютеры (основной источник питания).
  - Электромобили (преобразователь тягового напряжения в напряжение 12 В).
- **Преобразователи переменного тока (сетевые источники питания)**
  - Компактные преобразователи для флуоресцентных ламп.
  - Индукционный нагрев, сварка.
- **Инверторы (батареинные источники питания)**
  - Мобильные телефоны (подсветка ЖК-дисплея).
  - Портативные компьютеры (подсветка ЖК-дисплея).
  - Газоразрядные автомобильные фары (балласт).
  - Подогрев заднего стекла автомобиля (повышающий преобразователь).

**Импульсная передача**

- **Компоненты**
  - Широкополосные трансформаторы.
  - S<sub>0</sub>-интерфейсы (абонентская телефонная линия).
  - U-интерфейсы (абонентская ISDN-линия).
  - T1/T2-интерфейсы (магистральная линия между сетевыми переключателями).
  - ADSL-интерфейсы.
  - HDSL-интерфейсы.

Таблица 4. Характеристики материалов

Параметр	Символ	Единица	Условия измерения	3С85	3F3	3F4	3Е6
Начальная магнитная проницаемость	$\mu_i$	–	$f \leq 10$ кГц, $B \leq 0,1$ мТл, $T = 25$ °С	2000	1800	900	12000
Индукция насыщения при величине поля	$B_s$ H	мТл А/м	$f = 10$ кГц, $T = 25$ °С	$\approx 500$ 3000	$\approx 500$ 3000	$\approx 450$ 3000	$\approx 400$ 250
Остаточная магнитная индукция	$B_r$	мТл	$T = 25$ °С	$\approx 160$	$\approx 150$	$\approx 150$	$\approx 100$
Коэффициентная сила	$H_c$	А/м	$T = 25$ °С	$\approx 15$	$\approx 15$	$\approx 60$	$\approx 4$
Плотность мощности потерь (типичная, при синусоидальном возбуждении)	$P_v$	кВт/м <sup>3</sup>	$f = 25$ кГц, $B = 200$ мТл, $T = 100$ °С	100	70	–	–
			$f = 100$ кГц, $B = 100$ мТл, $T = 100$ °С	120	50	200	–
			$f = 500$ кГц, $B = 50$ мТл, $T = 100$ °С	–	180	180	–
			$f = 1$ МГц, $B = 30$ мТл, $T = 100$ °С	–	300	140	–
			$f = 3$ МГц, $B = 10$ мТл, $T = 100$ °С	–	–	240	–
Температура Кюри	$T_c$	°С	–	$\geq 200$	$\geq 200$	$\geq 220$	$\geq 130$
Удельное сопротивление	$\rho$	Ом·м	$T = 25$ °С	$\approx 2$	$\approx 2$	$\approx 10$	$\approx 0,5$
Плотность		г/см <sup>3</sup>	$T = 25$ °С	$\approx 4,8$	$\approx 4,8$	$\approx 4,7$	$\approx 4,9$

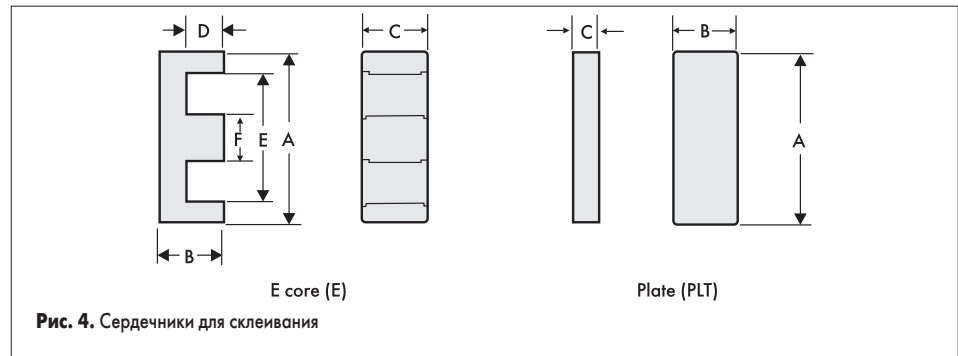


Рис. 4. Сердечники для склеивания

Таблица 5. Сердечники для склеивания (без выемок)

Тип	Размеры (мм)						Эффективные параметры сердечника				
	A	B	C	D	E	F	постоянная сердечника ( $\Sigma l/A$ ), мм <sup>-1</sup>	эфф. объем ( $V_0$ ), мм <sup>3</sup>	эфф. длина ( $l_0$ ), мм	эфф. площадь(*) ( $A_0$ ), мм <sup>2</sup>	масса половины сердечника, г
E14/3.5/5 (комбинация E-E)	14 ±0,3	3,5 ±0,1	5 ±0,1	2 ±0,1	11 ±0,25	3 ±0,05	1,43	300	20,7	14,5	≈0,6
E14/3.5/5 (комбинация E-PLT)	14 ±0,3	5 ±0,1	1,5 ±0,5	–	–	–	1,16	240	16,7	14,5	≈0,5
E18/4/10 (комбинация E-E)	18 ±0,35	4 ±0,1	10 ±0,2	2 ±0,1	14 ±0,3	4 ±0,1	0,616	960	24,3	39,5	≈2,4
PLT18/10/2 (комбинация E-PLT)	18 ±0,35	10 ±0,2	2 ±0,1	–	–	–	0,514	800	20,3	39,5	≈1,7
E22/6/16 (комбинация E-E)	21,8 ±0,4	5,7 ±0,1	15,8 ±0,3	3,2 ±0,1	16,8 ±0,4	5 ±0,1	0,414	2550	32,5	78,5	≈6,5
PLT22/16/2.5 (комбинация E-PLT)	21,8 ±0,4	15,8 ±0,3	2,5 ±0,05	–	–	–	0,332	2040	26,1	78,5	≈4
E32/6/20 (комбинация E-E)	31,75 ±0,64	6,35 ±0,13	20,32 ±0,41	3,18 ±0,13	24,9 мин.	6,35 ±0,13	0,323	5380	41,7	129	≈13
PLT32/20/3 (комбинация E-PLT)	31,75 ±0,64	20,32 ±0,41	3,18 ±0,13	–	–	–	0,278	4560	35,9	129	≈10
E38/8/25 (комбинация E-E)	38,1 ±0,76	8,26 ±0,13	25,4 ±0,51	4,45 ±0,13	30,23 мин.	7,62 ±0,15	0,272	10200	52,6	194	≈25
PLT38/25/4 (комбинация E-PLT)	38,1 ±0,76	25,4 ±0,51	3,81 ±0,13	–	–	–	0,226	8460	43,7	194	≈18
E43/10/28 (комбинация E-E)	43,2 ±0,9	9,5 ±0,13	27,9 ±0,6	5,4 ±0,13	34,7 мин.	8,1 ±0,2	0,276	13900	61,7	225	≈35
PLT43/28/4 (комбинация E-PLT)	43,2 ±0,9	27,9 ±0,6	4,1 ±0,13	–	–	–	0,226	11500	50,8	225	≈24
E58/11/38 (комбинация E-E)	58,4 ±1,2	10,5 ±0,13	38,1 ±0,8	6,5 ±0,13	50 мин.	8,1 ±0,2	0,268	24600	81,2	305	≈62
PLT58/38/4 (комбинация E-PLT)	58,4 ±1,2	38,1 ±0,8	4,1 ±0,13	–	–	–	0,224	20800	68,3	305	≈44
E64/10/50 (комбинация E-E)	64,01 ±1,27	10,2 ±0,13	50,80 ±1,02	5,1 ±0,13	53,80 ±1,07	10,2 ±0,2	0,156	40700	79,7	511	≈100
PLT64/50/5 (комбинация E-PLT)	64,01 ±1,27	50,80 ±1,02	5,08 ±0,13	–	–	–	0,136	35500	69,6	511	≈78

(\*)  $A_{min} = A$

Таблица 6. Материалы сердечников для склеивания

Тип сердечника	E14/3.5/5	E18/4/10	E22/6/16	E32/6/20	E38/8/25	E43/10/28	E58/11/38	E64/10/50
Соответствие пластины	PLT14/5/1.5	PLT18/10/2	PLT22/16/2.5	PLT32/20/3	PLT38/25/4	PLT43/28/4	PLT58/38/4	PLT64/50/5
3С85(*)				E160 – E	E250 – E	E250 – E	E315 – E	E630 – E
				A160 – P	A250 – P	A250 – P	A315 – P	A630 – P
				E250 – E	E315 – E	E315 – E	E400 – E	E1000 – E
				A250 – P	A315 – P	A315 – P	A400 – P	A1000 – P
				A315 – E	E400 – E	E400 – E	E630 – E	A1600 – E
				A315 – P	A400 – P	A400 – P	A630 – P	A1600 – P
				A400 – E	A630 – E	A630 – E	A1000 – E	A2500 – E
				A400 – P	A630 – P	A630 – P	A1000 – P	A2500 – P
				A630 – E	A1000 – E	A1000 – E	A1600 – E	A3150 – E
				A630 – P	A1000 – P	A1000 – P	A1600 – P	A3150 – P
			6425/7350	7940/9290	8030/9250	8480/9970	14640/16540	
3F3(*)			A160 – E	E160 – E	E250 – E	E250 – E	E315 – E	E630 – E
			A160 – P	A160 – P	A250 – P	A250 – P	A315 – P	A630 – P
			A100 – E	A250 – E	E250 – E	E315 – E	E315 – E	E400 – E
			A100 – P	A250 – P	A250 – P	A315 – P	A315 – P	A400 – P
	A63 – E	A160 – E	A315 – E	A315 – E	E400 – E	E400 – E	E630 – E	A1600 – E
	A63 – P	A160 – P	A315 – P	A315 – P	A400 – P	A400 – P	A630 – P	A1600 – P
	A100 – E	A250 – E	A400 – E	A400 – E	A630 – E	A630 – E	A1000 – E	A2500 – E
	A100 – P	A250 – P	A400 – P	A400 – P	A630 – P	A630 – P	A1000 – P	A2500 – P
	A160 – E	A315 – E	A630 – E	A630 – E	A1000 – E	A1000 – E	A1600 – E	A3150 – E
	A160 – P	A315 – P	A630 – P	A630 – P	A1000 – P	A1000 – P	A1600 – P	A3150 – P
	1100/1300	2700/3100	4300/5000	5900/6780	7250/8500	7310/8700	7710/9070	13300/15050
3F4(*)			A160 – E	E160 – E	E250 – E	E250 – E	E315 – E	E630 – E
			A160 – P	A160 – P	A250 – P	A250 – P	A315 – P	A630 – P
			A100 – E	A250 – E	E250 – E	E315 – E	E315 – E	E400 – E
			A100 – P	A250 – P	A250 – P	A315 – P	A315 – P	A400 – P
	A63 – E	A160 – E	A315 – E	A315 – E	E400 – E	E400 – E	E630 – E	A1600 – E
	A63 – P	A160 – P	A315 – P	A315 – P	A400 – P	A400 – P	A630 – P	A1600 – P
	A100 – E	A250 – E	A400 – E	A400 – E	A630 – E	A630 – E	A1000 – E	A2500 – E
	A100 – P	A250 – P	A400 – P	A400 – P	A630 – P	A630 – P	A1000 – P	A2500 – P
	A160 – E	A315 – E	A630 – E	A630 – E	A1000 – E	A1000 – E	A1600 – E	A3150 – E
	A160 – P	A315 – P	A630 – P	A630 – P	A1000 – P	A1000 – P	A1600 – P	A3150 – P
	650/780	1550/1800	2400/2900	3200/3700	3880/4600	3870/4660	4030/4780	6960/7920
3E6(**)	5600/6400	13500/15500	22000/26000					

(\*) – половины сердечников для использования в комбинации с Ш-образным сердечником без зазора или пластиной.

(\*\*) – половины сердечников с высокой магнитной проницаемостью.

E160 – E – половина сердечника с симметричным зазором.  $A_L = 160$  нГн (измерено в комбинации с половиной сердечника с симметричным зазором).

A25 – E – половина сердечника с асимметричным зазором.  $A_L = 25$  нГн (измерено в комбинации с половиной сердечника без зазора).

A25 – P – половина сердечника с асимметричным зазором.  $A_L = 25$  нГн (измерено в комбинации с пластиной).

1100/1300 – половина сердечника без зазора.  $A_L = 1100/1300$  нГн (измерено в комбинации с половиной сердечника без зазора/пластиной).

Значение  $A_L$  (нГн) измерялось при  $B \leq 0,1$  мТл,  $f \leq 10$  кГц,  $T = 25$  °С.

Допуск  $A_L$ :  $\pm 3\%$   $\pm 5\%$   $\pm 8\%$   $\pm 10\%$   $\pm 25\%$   $+40\%/-30\%$

Таблица 7. Зависимость характеристик от мощности (сердечники для склеивания)

Комбинация сердечников	В, мТл при 250 А/10 кГц	Потери в сердечнике, Вт				
		25 кГц 200 мТл 100 °С	100 кГц 100 мТл 100 °С	400 кГц 50 мТл 100 °С	1 МГц 30 мТл 100 °С	3 МГц 10 мТл 100 °С
E+E14-3F3	≥300	–	≤0,033	≤0,060	–	–
E+PLT14-3F3	≥300	–	≤0,027	≤0,048	–	–
E+E14-3F4	≥250	–	–	–	≤0,090	≤0,11
E+PLT14-3F4	≥250	–	–	–	≤0,072	≤0,088
E+E18-3F3	≥300	–	≤0,11	≤0,19	–	–
E+PLT18-3F3	≥300	–	≤0,092	≤0,16	–	–
E+E18-3F4	≥250	–	–	–	≤0,29	≤0,35
E+PLT18-3F4	≥250	–	–	–	≤0,24	≤0,29
E+E22-3F3	≥300	–	≤0,28	≤0,50	–	–
E+PLT22-3F3	≥300	–	≤0,23	≤0,40	–	–
E+E22-3F4	≥250	–	–	–	≤0,77	≤0,90
E+PLT22-3F4	≥250	–	–	–	≤0,62	≤0,72
E+E32-3С85	≥320	≤0,84	≤0,97	–	–	–
E+PLT32-3С85	≥320	≤0,71	≤0,82	–	–	–
E+E32-3F3	≥320	–	≤0,59	≤1,00	–	–
E+PLT32-3F3	≥320	–	≤0,50	≤0,85	–	–
E+E32-3F4	≥250	–	–	–	≤1,60	≤2,00
E+PLT32-3F4	≥250	–	–	–	≤1,36	≤1,70
E+E38-3С85	≥320	≤1,60	≤1,80	–	–	–
E+PLT38-3С85	≥320	≤1,35	≤1,50	–	–	–
E+E38-3F3	≥320	–	≤1,20	≤2,00	–	–
E+PLT38-3F3	≥320	–	≤1,00	≤1,65	–	–
E+E38-3F4	≥250	–	–	–	≤3,00	≤3,50
E+PLT38-3F4	≥250	–	–	–	≤2,50	≤2,90
E+E43-3С85	≥320	–	≤2,50	–	–	–
E+PLT43-3С85	≥320	–	≤2,10	–	–	–
E+E43-3F3	≥320	–	≤1,60	≤2,70	–	–
E+PLT43-3F3	≥320	–	≤1,35	≤2,25	–	–
E+E43-3F4	≥250	–	–	–	≤4,20	≤5,00
E+PLT43-3F4	≥250	–	–	–	≤3,50	≤4,15
E+E58-3С85	≥320	–	≤4,40	–	–	–
E+PLT58-3С85	≥320	–	≤3,75	–	–	–
E+E58-3F3	≥320	–	≤2,70	≤4,70	–	–
E+PLT58-3F3	≥320	–	≤2,30	≤4,00	–	–
E+E58-3F4	≥250	–	–	–	≤7,40	≤8,00
E+PLT58-3F4	≥250	–	–	–	≤6,25	≤6,80
E+E64-3С85	≥320	–	≤7,30	–	–	–
E+PLT64-3С85	≥320	–	≤6,40	–	–	–
E+E64-3F3	≥320	–	≤4,50	≤7,80	–	–
E+PLT64-3F3	≥320	–	≤3,95	≤6,80	–	–
E+E64-3F4	≥250	–	–	–	≤12,0	≤15,0
E+PLT64-3F4	≥250	–	–	–	≤10,5	≤13,0

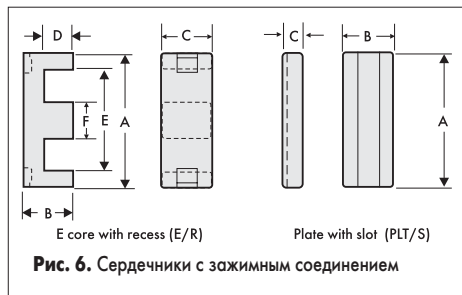
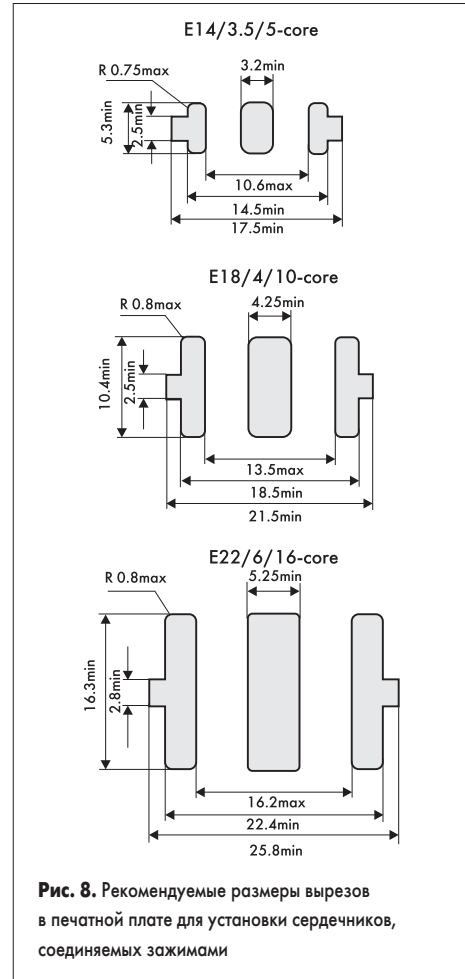
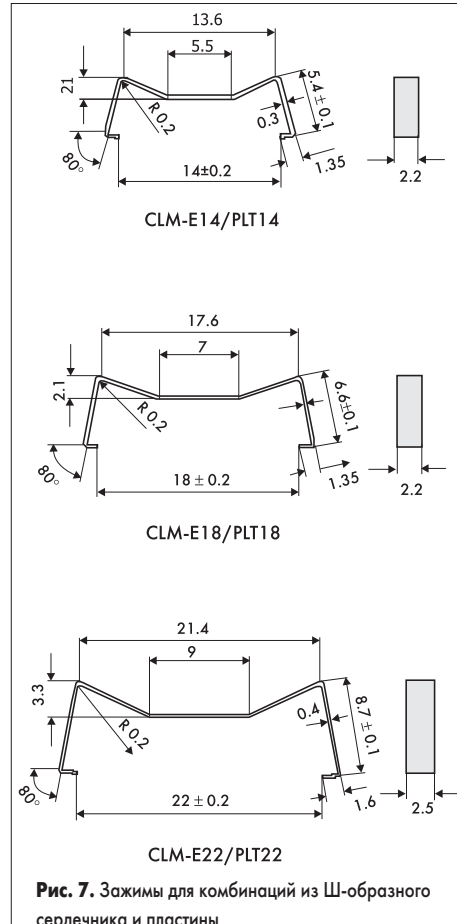
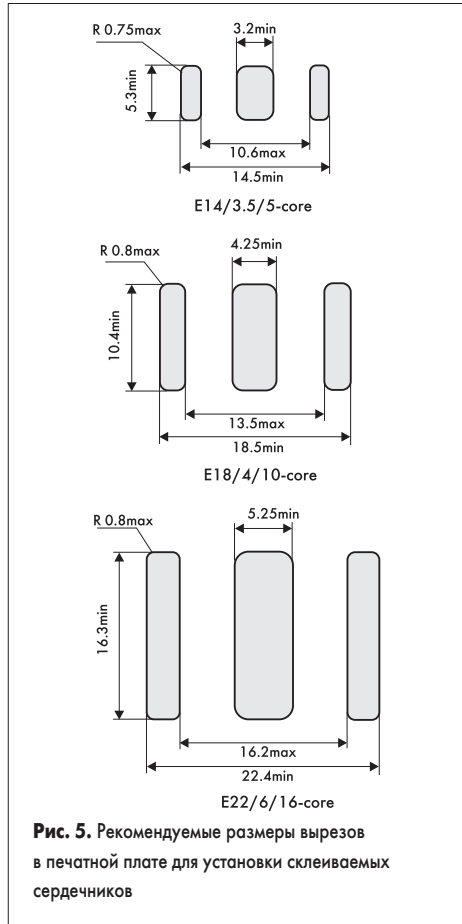
Таблица 8. Сердечники с зажимным соединением

Тип сердечника		E14/3.5/5/R	PLT14/5/1.5/S (комбинация E-PLT)	E18/4/10/R (комбинация E-PLT)	E22/6/16/R (комбинация E-PLT)	PLT22/16/2.5/S (комбинация E-PLT)
Эфф. параметры сердечника	постоянная сердечника ( $\Sigma I/A$ ), мм <sup>-1</sup>	–	1,15	–	0,498	–
	эфф. объем ( $V_0$ ), мм <sup>3</sup>	–	230	–	830	–
	эфф. длина ( $l_0$ ), мм	–	16,4	–	20,3	–
	эфф. площадь ( $A_0$ ), мм <sup>2</sup>	–	14,2	–	40,8	–
	мин. площадь ( $A_{мин}$ ), мм <sup>2</sup>	–	10,9	–	35,9	–
	масса половины сердечника, г	≈0,6	≈0,5	≈2,4	≈1,7	≈6,5
Размеры, мм	A	14 ± 0,3	14 ± 0,3	18 ± 0,35	18 ± 0,35	21,8 ± 0,4
	B	3,5 ± 0,1	5 ± 0,1	4 ± 0,1	10 ± 0,2	5,7 ± 0,1
	C	5 ± 0,1	1,8 ± 0,05	10 ± 0,2	2,4 ± 0,05	15,8 ± 0,3
	D	2 ± 0,1	–	2 ± 0,1	–	3,2 ± 0,1
	E	11 ± 0,25	–	14 ± 0,3	–	16,8 ± 0,4
	F	3 ± 0,05	–	4 ± 0,1	–	5 ± 0,1
Детали для монтажа	Зажим		E14/PLT14		E18/PLT18	E22/PLT22

Номенклатура изделий

Компания FERROXCUBE предлагает широкий ассортимент планарных Ш-образных сердечников в диапазоне размеров 14–64 мм. В базовой версии для склеивания поперечное сечение всегда является однородным, что позволяет оптимальным образом использовать объем феррита. Для каждого размера имеется Ш-образный сердечник (обозначается буквой E) и соответствующая ему пластина (обозначается буквами PLT). Набор может состоять из Ш-образного сердечника и пластины или двух Ш-образных сердечников. В последнем случае высота окна намотки удваивается. Для самых маленьких размеров имеется также набор из Ш-образного сердечника и пластины в варианте с зажимным соединением. В нем используется Ш-образный сердечник с выемками





**Таблица 10.** Зависимость характеристик от мощности (сердечники с зажимным соединением)

Комбинация сердечников	В, мТл при 250 А/м	Потери в сердечнике, Вт				
		25 кГц 10 мТл 100 °С	100 кГц 100 мТл 100 °С	400 кГц 50 мТл 100 °С	1 МГц 30 мТл 100 °С	3 МГц 10 мТл 100 °С
E+PLT14-3F3	≥300	-	≤0,032	≤0,058	-	-
E+PLT14-3F4	≥250	-	-	-	≤0,086	≤0,11
E+PLT18-3F3	≥300	-	≤0,12	≤0,20	-	-
E+PLT18-3F4	≥250	-	-	-	≤0,30	≤0,37
E+PLT22-3F3	≥300	-	≤0,29	≤0,52	-	-
E+PLT22-3F4	≥250	-	-	-	≤0,80	≤0,93

**Таблица 9.** Материалы сердечников с зажимным соединением

Тип сердечника	E14/3.5/5/R	E18/4/10/R	E22/6/16/R
Соотв. пластины	PLT14/5/1.5/S	PLT18/10/2/S	PLT22/16/2.5/S
3F3	A63 - P	A100 - P	A160 - P
	A100 - P	A160 - P	A250 - P
	A160 - P	A250 - P	A315 - P
	1300	A315 - P	A400 - P
		3100	A630 - P
3F4	A63 - P	A100 - P	A160 - P
	A100 - P	A160 - P	A250 - P
	A160 - P	A250 - P	A315 - P
	780	A315 - P	A400 - P
		1800	A630 - P
3E6	6400	15500	2900
			26000

(1) — половины сердечников для использования в комбинации с пластиной.

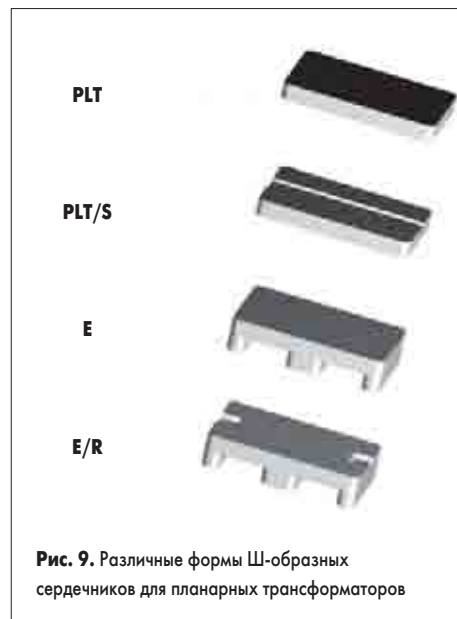
A63 - P — половина сердечника с асимметричным зазором.  $A_L = 63$  нГн (измерено в комбинации с пластиной).

1280 — половина сердечника без зазора.

$A_L = 1280$  нГн (измерено в комбинации с пластиной).

Значение  $A_L$  (нГн) измерялось при  $V \leq 0,1$  мТл,  $f \leq 10$  кГц,  $T = 25$  °С.

Допуск  $A_L$ : ±3% ±5% ±8% ±25% +40%/−30%



(обозначается E/R) и пластина с канавкой (обозначается PLT/S). Зажим (обозначается CLM) защелкивается в выемки сердечника и обеспечивает прочное соединение, прижимая пластину в двух точках. Канавка предотвращает смещение пластины даже при сильных ударах или вибрации, а также обеспечивает выравнивание. Для комбинации из двух Ш-образных сердечников зажимное соединение не предусмотрено.

Сердечники из мощных ферритов 3F3 (рабочая частота до 500 кГц) и 3F4 (500 кГц — 3 МГц) имеются во всех размерах. Сердечники наибольшего размера изготавливаются также из феррита 3С85 (рабочая частота до 200 кГц), так как большие сердечники часто используются в мощных низкочастотных устройствах. Имеются также сердечники наименьшего размера, изготавливаемые из высокопроницаемого феррита 3Е6 ( $\mu_r = 12000$ ), для использования в дросселях сетевых фильтров и широкополосных трансформаторах.

**Упаковка**

В качестве стандартной упаковки для планарных Ш-образных сердечников и пластин используется пластиковая пленка.

**Таблица 11.** Упаковка

Размеры упаковки	Шаг	Размеры коробки (дхшхв)	Сердечников в упаковке
340×60 мм	27,5 мм	355×70×210 мм	40
295×82 мм	38,5 мм	310×90×248 мм	20

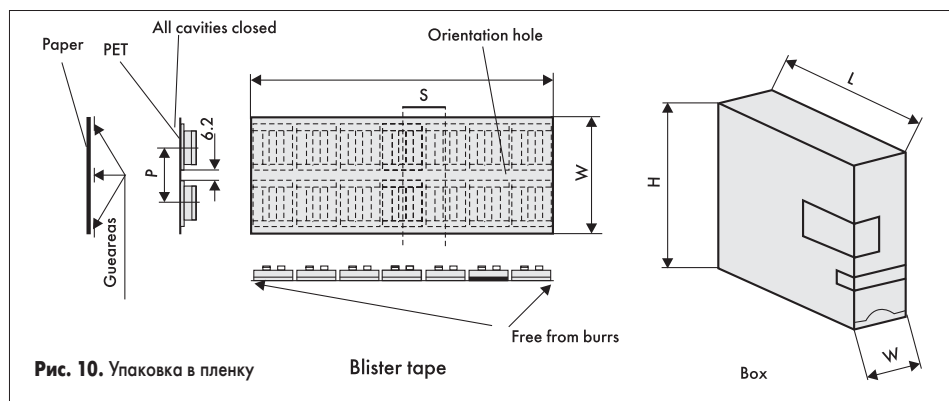


Рис. 10. Упаковка в пленку

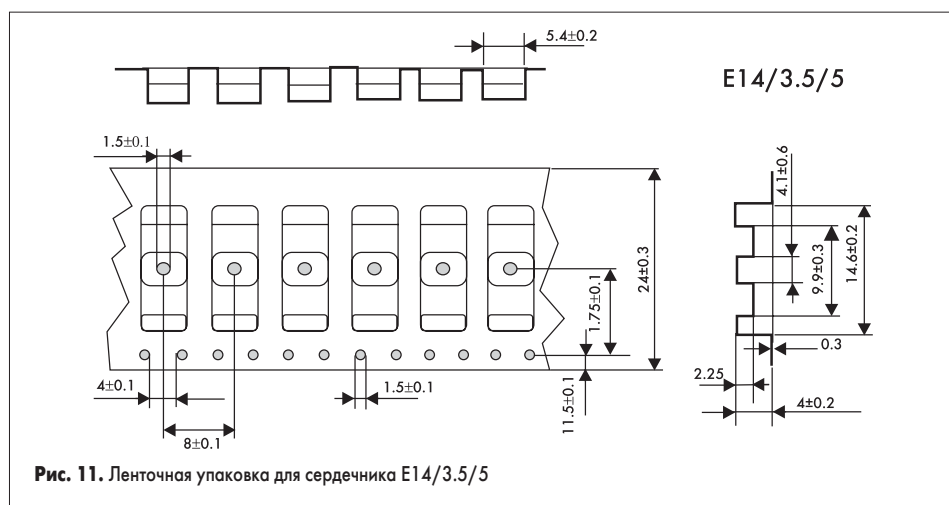


Рис. 11. Ленточная упаковка для сердечника E14/3.5/5

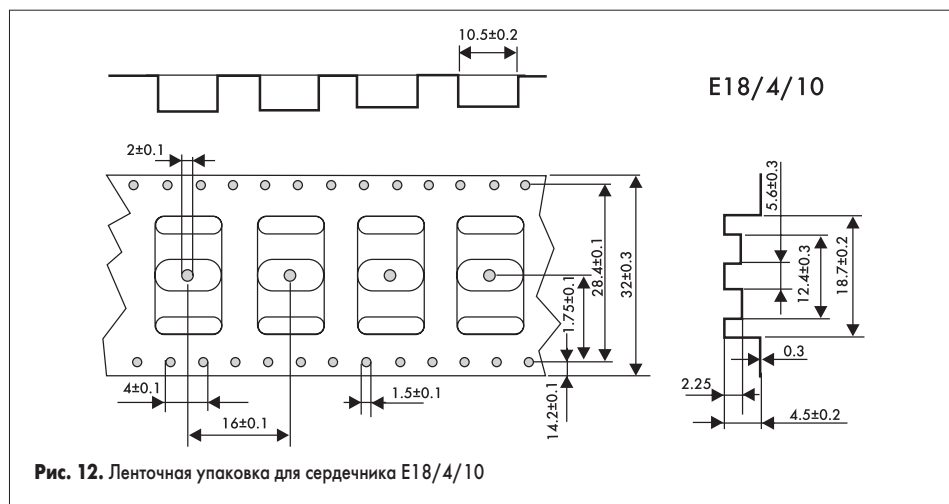


Рис. 12. Ленточная упаковка для сердечника E18/4/10

Таблица 12. Коробка с сердечниками

Размеры сердечника	Упаковок в коробке	Половин сердечников в коробке	Ширина упаковки
E14/3.5/5	50	2000	60 мм
E18/4/10	50	2000	60 мм
E22/6/16	25	500	82 мм

Таблица 13. Коробка с зажимами

Тип зажима	Размеры коробки	Зажимов в коробке
CLM-E14/PLT14	170×100×70 мм	5000
CLM-E18/PLT18	170×100×70 мм	2500
CLM-E228/PLT22	170×100×70 мм	1500

Таблица 14. Ленточная упаковка

Тип сердечника	Шаг	Ширина ленты	Диаметр бобины	Половин сердечников в бобине
E14/3.5/5	8 мм	24 мм	330 мм	2000
E18/4/10	16 мм	32 мм	330 мм	900

Для сердечников E14/3.5/5 и E18/4/10 был разработан прототип ленточной упаковки

для использования с аппаратурой автоматического монтажа SMD-компонентов. Метод упаковки соответствует стандарту IEC-286, часть 3. Пластины имеют ту же упаковку, что и соответствующие Ш-образные сердечники.

**Разработка**

Чтобы по максимуму использовать преимущества планарной технологии, необходимо следовать иной концепции разработки, чем при проволочной намотке. Ниже приведен ряд соображений, которыми следует руководствоваться в этой связи.

**Выбор сердечника**

Улучшенные тепловые характеристики допускают в два раза большие потери мощнос-

ти по сравнению с обычной конструкцией при том же объеме магнитного поля, поэтому значение оптимальной магнитной индукции будет выше обычного.

• **Воздушный зазор**

Большие зазоры нежелательны в планарных конструкциях, поскольку они создают поток рассеяния. Краевой поток зависит от отношения высоты окна намотки к ширине воздушного зазора, которая меньше для плоских сердечников. Если высота окна всего в несколько раз больше ширины зазора, а ширина в несколько раз больше ширины центральной части сердечника, то между верхом и низом сердечника возникнет поток значительной величины. Большие величины краевых и пересекающихся потоков приводят к большим потерям на вихревые токи в обмотке.

**Конструкция обмотки**

• **Сопротивление на постоянном токе**

Чаще всего используются медные дорожки толщиной 35, 70, 100 и 200 мкм. Если площадь поперечного сечения дорожки недостаточна для того, чтобы получить приемлемое сопротивление на постоянном токе, можно параллельно соединить дорожки для всех или части витков.

• **Сопротивление на переменном токе**

Потери меди на переменном токе, обусловленные скин-эффектом и эффектом близости, оказываются меньше для плоских медных дорожек, чем для круглого провода с той же площадью поперечного сечения. Вихревые токи, индуцируемые в окрестности воздушного зазора, можно снизить, удалив несколько витков в том месте, где индукция является максимальной и направлена перпендикулярно плоскости намотки. Комбинация Ш-образного сердечника и пластины характеризуется несколько меньшим потоком рассеяния, чем комбинация двух Ш-образных сердечников, из-за местоположения воздушного зазора.

• **Индуктивность утечки**

При расположении обмоток одна над другой магнитная связь является очень сильной, и достижимы значения коэффициента связи, близкие к 100% (рис. 13, а).

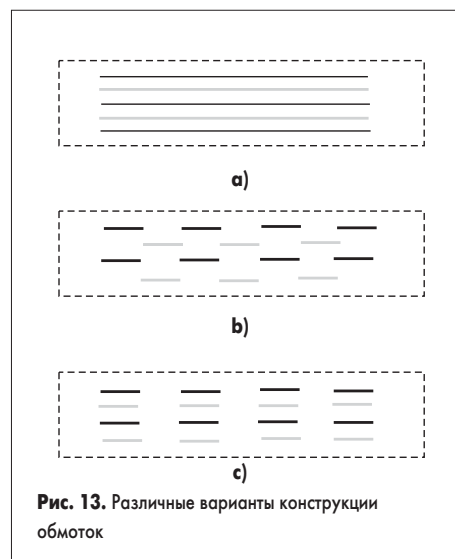
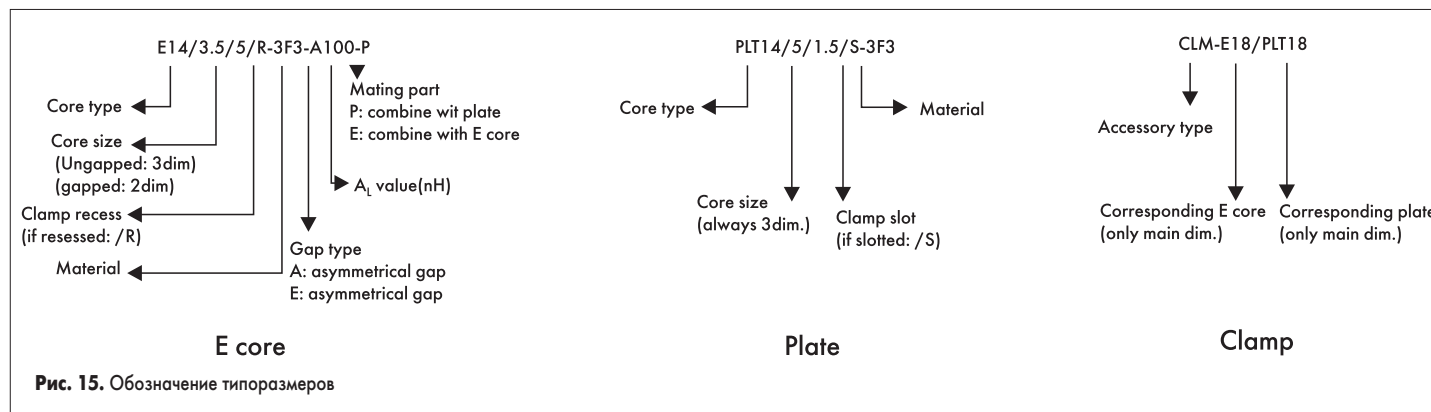


Рис. 13. Различные варианты конструкции обмоток



### • Паразитная емкость

Предыдущая конструкция ведет к более высокой межобмоточной емкости. Эту емкость можно уменьшить, расположив дорожки соседних обмоток в промежутках друг между другом (рис. 13, *b*).

Более того, повторяемость значения емкости позволяет компенсировать ее в оставшейся части цепи, а также использовать в резонансных конструкциях. В последнем случае можно целенаправленно создать большую емкость, расположив дорожки соседних обмоток друг напротив друга (рис. 13, *c*).

## Производство

### Сборка

Для навесных компонентов процесс сборки не имеет существенных отличий от обычного. Рекомендации по склеиванию и сушке приведены в технологической брошюре «Склеивание ферритовых сердечников». При склеивании сердечников из высокопрочного феррита 3Е6 не следует наносить клей на соприкасающиеся поверхности, поскольку возникающий паразитный зазор снижает эффективную магнитную проницаемость. Вместо этого клей можно наносить с торцов сердечника по линии соприкосновения двух половин (рис. 14).

При использовании зажимов необходимо сначала защелкнуть зажим в углубления сердечника, а затем выровнять пластину в поперечном направлении.

Для интегрированных компонентов сборка комбинируется с монтажом.

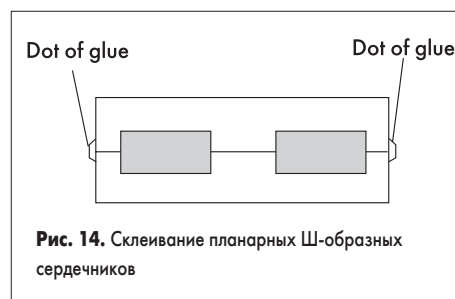
### Монтаж

При применении навесных компонентов можно использовать платы со сквозными отверстиями или SMD-монтаж. Существенных отличий от обычного процесса не имеется.

Плоская поверхность сердечника хорошо подходит для автоматического монтажа.

В случае интегрированных компонентов монтаж лучше всего выполнять в два этапа:

1. Приклеить одну половину сердечника к печатной плате. Для этого можно использовать тот же клей, что и для монтажа SMD-компонентов, и этот этап логичным образом объединяется с монтажом SMD-компонентов на данной стороне печатной платы.
2. Приклеить вторую половину сердечника к первой. Сюда относятся те же замечания, которые были сделаны по поводу сборки навесных компонентов.



### Пайка

Относится только к навесным трансформаторам.

В случае пайки оплавлением предпочтительным способом нагрева является горячая конвекция, а не инфракрасное излучение, поскольку первый способ обеспечивает выравнивание температур спаиваемых поверхностей. При нагреве инфракрасным излучением с использованием стандартных материалов хорошая теплопроводность планарного компонента может привести к слишком низкой температуре паяльной пасты, а при повышении мощности излучения — к слишком высокой температуре печатной платы. Если используется инфракрасный нагрев, рекомендуется подобрать другую паяльную пасту и/или материал печатной платы.

### Обозначение типоразмеров

Все указанные числа относятся к половинам сердечников. Необходимо заказывать две половины сердечника в правильном сочетании. Имеется четыре типа половин сердечников, из которых составляются наборы трех видов:

- два Ш-образных сердечника (E+E);
- Ш-образный сердечник и пластина (E+PLT);
- Ш-образный сердечник с выемками и пластина с канавкой (E/R + PLT/S).

В последний набор входит также зажим (CLM).

В следующей статье будет приведена методика расчета планарных силовых трансформаторов для импульсных источников питания.