

# Ферритовые изделия фирмы EPCOS

Мелёшин Валерий,  
профессор МАИ

sales@dialelectrolux.ru

Компания EPCOS производит большое количество ферритовых изделий самого различного назначения. Прежде всего отметим, что все ферритовые изделия делятся по своей структуре на три больших класса:

- никель-цинковые (NiZn);
- марганец-цинковые (MnZn);
- ферритовые полимерные композиционные материалы (FPC), имеющие распределенный воздушный зазор.

Никель-цинковые ферриты отличаются меньшей по сравнению с марганец-цинковыми ферритами индукцией насыщения и, как правило, могут работать при более высоких частотах. Им свойственна более высокая температура точки Кюри (при которой материал полностью теряет свои свойства). FPC-материалы выполняются как порошковые или ленточные изделия.

EPCOS предлагает широкую гамму ферритовых материалов.

По своему преимущественному назначению ферритовые материалы EPCOS делятся следующим образом:

Классы ферритов	Материалы
NiZn	U17, K12, K1, K10, M13
MnZn	M 33, T35, N49, N87, N48, T37, N53, N72, N22, T38, N82, N41, N26, T42, N62, N30, T46, N27, T65, N59, N67
FPC	C302 и C305 порошковые, C351 ленточные

1. Индуктивности для резонансных схем — U17, K12, K1, M33, N48.

Некоторые из этих материалов можно использовать для сердечников сглаживающих дросселей. Первые четыре материала отличает высокая температура точки Кюри (>200–550 °C). Частотный диапазон различен в зависимости от структуры материала.

2. Индуктивности для подавления в линии (inductors for line attenuation) — K10, M13.

Материалы:	U17	K12	K1	M33	N48
Частотный диапазон, МГц	10...220	3...40	1,5...2	0,2...1,0	0,001...0,1

3. Индуктивности для некоторых отдельных применений — N22.

4. Широкополосные трансформаторы — N26, N30, T65, T35, T37, T38, T42, T46.

5. Силовые трансформаторы и дроссели — N59, N49, N53, N82, N62, N27, N67, N87, N72, N41.

6. Бесконтактные датчики сближения, системы идентификации, электромагнитное экранирование, корректировка изображения кинескопов телевизоров и мониторов — C302, C350, C351.

## Вопросы обеспечения качества

По убеждению руководства компании EPCOS, качество играет центральную роль при создании наилучшего и отвечающего всем требованиям времени продукта. Как главенствующий принцип непрерывного улучшения изделий и качества обслуживания своих заказчиков отделение ферритов компании EPCOS установило цели качества, которые систематически обновляются и с успехом используются для всех изделий — как в новых разработках, так и в изделиях, находящихся в производстве.

Цель руководства компании — направлять всю деятельность организаций на оптимальное удовлетворение требований заказчиков. Здесь исповедуется принцип «качество с начала процесса». Систематическое и продуманное планирование, тщательный выбор поставщиков и отличное владение вопросами разработки и производственных процессов представляют собой самые важные гарантии поддержания высокого уровня качества.

Современные методы поддержания качества, такие как FMEA (анализ видов и явлений отказов) и SPC (статистический процесс контроля), дополняют и поддерживают меры по обеспечению качества и улучшению свойств изделий.

На всех уровнях разработанные системы гарантии качества ферритов (Ferrites QA systems) удовлетворяют стандарту ISO 9000, что засвидетельствовано сертификатами DQS или AFAQ. Для гарантии качества сырья и покупных материалов предприятия EPCOS работают только с теми поставщиками, которые представляют доказательства как высокого качества своего продукта, так и эффективности системы гарантии качества в производстве.

Производственные процессы наблюдаются и контролируются постоянной проверкой параметров процесса и промежуточных операций. При завершении каждой важной производственной операции выполняется контроль для свидетельства надлежащего качества. Качество выпускаемых изделий постоянно контролируется, записывается и оценивается. По требованию эти данные на ферритовые сердечники могут быть предъявлены заказчику.

Условия измерений параметров ферритов строго нормированы и приводятся в доступных материалах программы EPCOS. Параметры и пределы допусков приведены в соответствующих справочных данных (data sheets) на каждый тип сердечника. Данные на материал сердечника также приводятся в справочных данных и должны пониматься как типовые значения.

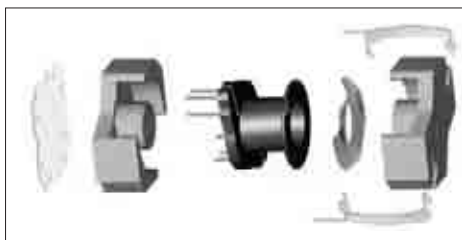
## Стандарты и требования

Ферритовые изделия EPCOS производятся в соответствии с требованиями IEC. На соответствующие стандарты имеются ссылки в справочных данных для выбора сердечников, приводятся эти стандарты также в данных на каждый конкретный тип изделия. Перечисление всех стандартов, относящихся к ферритам заняло бы слишком много места. В приложении к документу DIN 41280 (магнитомягкие ферритовые сердечники; свойства материалов) перечисляются все соответствующие стандарты DIN, CECC и IEC. Данное приложение регулярно корректируется.

Стандарты IEC определяют главным образом размеры, назначение и магнитные характеристики, в то время как европейская система оценки качества CECC и соответствующие стандарты DIN CECC дополнительно определяют методы измерения и градации качества. С 1982 г. IEC устанавливает так называемую IEC Q-систему, которая найдет применение во всем мире. Немецкие DIN-IEC стандарты согласуются с этой системой качества.

EPCOS предлагает большую гамму высококачественных ферритовых сердечников для устройств различной мощности и применения.

## RM-сердечники



Компактные RM-сердечники (прямоугольные модульного типа) появились в результате повышенных требований к каркасам для создания более эффективной намотки. Данная конструкция позволяет повысить плотность упаковки на печатных платах. Каркасы RM-сердечников и вспомогательные детали подходят для автоматизированных процессов изготовления трансформаторов и дросселей.

При сборке обе половины RM-сердечников удерживаются вместе с помощью зажимов (clamps), которые вставляются в углубления, предусмотренные в основаниях для этой цели. Для вновь разработанных зажимов подобраны такие усилия, что не требуется соединение с помощью клея, что обычно использовалось ранее. Размеры сердечников соответствуют стандартным координатным сеткам печатных плат. Например, RM6 означает, что сердечник с каркасом занимает квадратную площадь в основании, равную 6×6 модулей (1 модуль = 2,54 мм), то есть 15,24×15,24 мм<sup>2</sup>. Выпускаемые сердечники размеров от RM4 до RM14 специфицированы по IEC 60431.

## Применение RM-сердечников

Первоначально RM-сердечники (выпускаемые еще Siemens) разрабатывались для двух основных областей применения:

- высокостабильные, высокодобротные различные индуктивности, работающие на резонансной частоте (материалы N48, M33 и K1);
- широкополосные трансформаторы с низким уровнем искажений, работающие при малых сигналах (материалы T42, T38, T35, N30, N26).

Даже сегодня еще существует потребность в RM-сердечниках для названных применений.

Непрерывно возрастает потребность в RM-сердечниках для их использования в силовой электронике. Для этой цели особенно подходят сердечники без зазора, выполненные из материалов N87 и N49. Сердечники без отверстия в центральном керне позволяют получить большие значения AL (индуктивность на один виток), и на таких сердечниках можно выполнять трансформаторы большой мощности. Для RM-сердечников имеются каркасы с большими расстояниями между выводами.

Некоторые RM-сердечники выполняются как низкопрофильные, то есть со значительно уменьшенной высотой (low-profile-LP RM). Такие сердечники подходят для малосигнальных, интерфейсных и согласующих трансформаторов, а также для высокочастотных трансформаторов, применяемых в DC/DC-конверторах (материалы N87 и N49). Кроме того, LP RM-сердечники удачно подходят для дросселей с подмагничиванием в тех же DC/DC-конверторах. LP RM-сердечники применяются и в тех случаях, когда обмоткой является участок печатной платы (обе половины сердечника располагаются с верхней и нижней сторон платы) или когда обмотка выполняется в виде отдельной многослойной печатной платы. Некоторые сердечники (RM4 LP, RM5, RM6 и RM6 LP) могут использоваться и как обычные каркасы, и как специально разработанные — для поверхностного монтажа с плоскими выводами.

По требованию заказчика RM-сердечники, и имеющие, и не имеющие отверстия в центральном керне, могут поставляться с любым типом феррита.

Для малогабаритных дросселей с большой энергией сердечники RM12 и RM14 выпускаются с оптимизированной толщиной основания.

## PM-сердечники



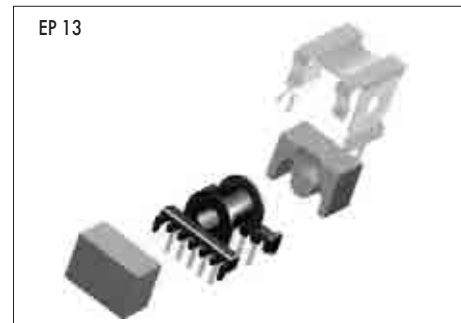
PM-сердечники (чашечные модульного типа) особенно подходят для трансформаторов большой мощности, работающих на частотах вплоть до 300 кГц. Для многих задач, решаемых разработчиком в области телекоммуникаций и промышленной электроники, например, изготовление мощных импульсных трансформаторов для радиолокационных передатчиков, для антенных систем, трансформаторов систем управления или трансформаторов для управления тиристорами, изготовление дросселей, запасающих энергию в импульсных источниках питания и других источниках питания, сердечники в виде чашек позволяют получить несколько преимуществ: большая площадь сече-

ния таких сердечников, позволяющая получить большую мощность при меньшем числе витков, что, в свою очередь, приводит к уменьшенному потоку рассеяния и уменьшенной емкости обмоток; экранирование вследствие закрытия обмотки сердечником; простая конструкция моточного узла и малое место, занимаемое трансформатором или дросселем на плате. Сердечники выполнены как большой ряд модульного типа.

Из-за значительной массы сердечников, особенно при применении больших типоразмеров (87/70, 114/93), обычный монтаж на печатных платах оказывается не всегда возможным. В таких случаях каркас сердечника должен располагаться выводами вверх.

Потери для данного типа сердечников указываются для каждого типоразмера при соответствующих параметрах измерения (индукция, частота, температура). Индукция при этом определяется для подключения обмотки к синусоидальному напряжению с учетом минимальной площади сечения (A<sub>min</sub>), указываемой в справочных данных.

## EP-сердечники



EP-сердечники обычно применяются для изготовления трансформаторов. Почти кубическая форма обеспечивает большое соотношение объема устройства к занимаемой общей площади и позволяет получить высокую плотность размещения элементов на плате. Компактная конструкция и применяемые в этих сердечниках ферриты (N26, N30, T35, T65, T38 и T42) обеспечивают малые потоки рассеяния и замечательные свойства, необходимые для передачи малых сигналов в широкой полосе частот. EP-сердечники во всевозрастающих количествах применяются в силовой электронике. Для этих целей рекомендуются все сердечники ряда от EP7 до EP20, выполненные из ферритов N67 и N87 для работы на частотах до 300 кГц. Помимо каркасов с удобными выводами для монтажа, каждая пара сердечников дополняется зажимом и скобой, необходимыми при сборке. В справочных данных для материалов N67 и N87 указываются потери при соответствующих параметрах измерения на один комплект.

## P-сердечники



P-сердечники (Pot cores — чашечные сердечники) представлены широким рядом из

13 типоразмеров от P3,3×2,6 до P14×25,8 типоразмеров производятся в соответствии с IEC 60133. Для этих сердечников предлагается широкий выбор ферритов, что позволяет применять данные сердечники для самых различных целей при частотах до 100 МГц. Поскольку обмотка полностью заключена в сердечник, P-сердечники отличаются очень малым потоком рассеяния. Они применяются при самых различных требованиях к индуктивному элементу. Для каждого типоразмера предлагаются соответствующие вспомогательные элементы (accessories). Большинство сердечников имеют в комплекте втулки и регулировочные винты для точной установки необходимой индуктивности. В справочных данных приводятся необходимые регулировочные кривые, которые даются для определенных сочетаний материала регулировочного винта и значения сердечника AL.

P-сердечники находят следующие области применения:

- Высококачественные дроссели для резонансных схем при высокой стабильности индуктивности (материалы N48, M33, K1).
- Малосигнальные широкополосные трансформаторы при малом уровне искажений, использующие материалы T38 и N30 с высокими значениями  $A_L$ .
- Силовая электроника. Здесь обычно применяются чашечные сердечники без отверстия в центральном керне, выполненные из материала N67. В силу того, что такие сердечники имеют большую площадь сечения, они характеризуются повышенным значением  $A_L$ , лучшим распределением индукции в различных частях сердечника и, следовательно, уменьшенными потерями.

Следует иметь в виду следующее:

- сердечники от P5,8×3,3 до P36×22 имеют расширенные боковые пазы для защиты обмотки;
- сердечник P9×5 имеет каркас, предназначенный для поверхностного монтажа.

Для каждого типоразмера сердечника, использующего ферриты для применения в силовой электронике, указываются максимальные потери в Ваттах на комплект сердечника (две половины). Индукция указывается для синусоидального напряжения и соответствует минимальному значению сечения ( $A_{min}$ ), указываемому в справочных данных.

### Разомкнутые сердечники для коммутаторов сближения

Индуктивные коммутаторы сближения могут использоваться как неконтактирующие детекторы движения и индикаторы выходного сигнала. Здесь возможны следующие области применения:

- определение конечного положения на ленточных конвейерах;
- счетчики на вращающихся изделиях;
- бесконтактное определение позиции указателя в измерительных и контролируемых приборах стрелочного типа.

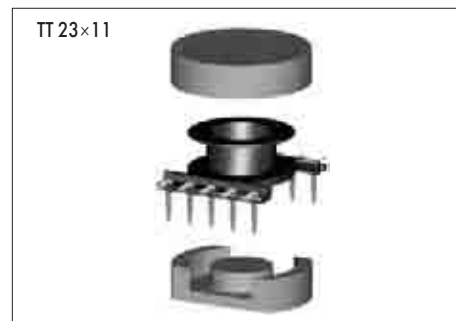
Преимущество индуктивных коммутаторов сближения заключается в бездрезбовой ком-

мутации, отсутствии механического износа, нечувствительности к загрязнению и способности реагировать только на металлические детали. Для таких коммутаторов предлагаются P-сердечники с диаметрами от 5,6 до 150 мм. Их размеры согласуются со стандартными переключателями. Для различных размеров P-сердечников получаются различные максимальные рабочие расстояния. Материал N22 является особенно подходящим для частотного диапазона от 0,1 до 0,8 МГц. Кроме того, материал M33 с типоразмерами сердечников от 5,6 до 14 мм подходит и для более высоких частот.

Термопластичные каркасы поставляются для большинства сердечников данного типа. Материал каркасов позволяет работать при температуре от -60 до +120 °С. Следовательно, если возникает необходимость герметизации узла, то температура +120 °С оказывается при этом допустимой.

Для новых разработок рекомендуются сердечники, обозначаемые как PS, стандартизированные по DIN41001. Дополнительным преимуществом является то, что для диаметров 11 и 14 мм можно взять половину стандартного сердечника P11×7 или P14×8 соответственно.

### ТТ/PR-сердечники



ТТ (Touch Tone — тональность, вызываемая касанием) и PR (Pot Rectangular — чашечные прямоугольные) сердечники поставляются в 5 типоразмерах: от 14 до 30 мм. Все сердечники с целью получения максимального эффективного сечения выполняются без отверстия в центральном керне, но по требованию заказчика могут поставляться сердечники и с центральным отверстием.

Первоначально сердечники ТТ применялись в телефонных аппаратах с кнопочным номеронабирателем. Круглая и закрытая форма сердечника обеспечивает наилучшее экранирование и в то же время достаточное место для выводов обмотки.

PR-сердечники состоят из двух одинаковых половин и имеют очевидное преимущество: по сравнению с ТТ-сердечниками на плате размещается более узкий компонент, занимающий меньше места. По требованию заказчика могут поставляться сердечники с зазором, имеющие приемлемые значения  $A_L$ . Воздушный зазор выполняется с использованием эффективной технологии шлифовки в одной из половин сердечника.

Как ТТ, так и PR-сердечники находят следующие области применения:

- Телекоммуникации: там, где требуются согласующие трансформаторы, обеспечиваю-

щие малый уровень искажений. Последнее достигается расположением обмоток, геометрией сердечника и его объемом, то есть его коэффициентом искажений (CDF — core distortion factor). Значения CDF для каждого типа сердечника приводятся в справочных данных.

- Силовая электроника: где требуются трансформаторы с малой высотой и компактным расположением обмоток. Эти сердечники также могут применяться при создании трансформаторов с плоскими обмотками и для этих целей по требованию заказчика могут поставляться сердечники с меньшей высотой. Для ТТ/PR-сердечников каркасы производятся только по требованию.

### E-сердечники



Для производства E-сердечников предпочтительны материалы N27, N67, N87, N49 и N30. N27 рекомендуется для применения в силовой электронике в частотном диапазоне примерно до 100 кГц, N67 — для диапазона от 100 до 300 кГц и N87 — для частот до 500 кГц. EFD-сердечники, выполненные из феррита N49, рекомендуется применять для частот >500 кГц. Все названные материалы, используемые в трансформаторах для силовой электроники, отличаются высоким значением индукции насыщения и низкие удельные потери.

Сердечники с ферритом N30 особенно подходят для широкополосных малосигнальных

трансформаторов, а также для дросселей подавления помех.

Весь спектр E-сердечников содержит различные по форме сердечники, которые могут быть использованы не только для трансформаторов, но и для дросселей с мощностью до 10 кВА:

**а) Сердечники с круглым центральным стержнем. EPCOS предлагает следующие типы таких сердечников:**

- ER-сердечники;
- ETD-сердечники, выпускаемые в соответствии с IEC 61185;
- ЕС-сердечники, выпускаемые в соответствии с IEC 60647.

E-сердечники с круглым центральным керном удобны в намотке, особенно при использовании провода большого диаметра, компактно располагаются на плате и открывают обмотку с двух сторон. ETD-сердечники имеют дополнительное преимущество почти постоянного сечения вдоль магнитной силовой линии. Вместе с сердечниками поставляется широкая гамма оптимально выполненных вспомогательных элементов: каркасов, скоб и т. д.

Отметим, что ER-сердечники с размерами 9,5 и 11/5 особенно подходят для трансформаторов с малой габаритной высотой при большой индуктивности намагничивания. Эти типоразмеры выполняются с материалом T38 для широкополосных трансформаторов, а также с материалами N87 и N49 для мощных трансформаторов при частотах, близких или выше 500 кГц. Для сердечников с круглым центральным стержнем поставляются каркасы для поверхностного монтажа.

**б) Двойные E-сердечники (DE).**

DE-сердечники являются разновидностью E-сердечников с замкнутой магнитной цепью. Преимущества данных сердечников в магнитных свойствах точно такие же, как у кольцевых сердечников. Может выполняться как ручная, так и автоматизированная намотка. E-сердечники с материалом T37 применяются для тококомпенсированных дросселей.

**в) Сердечники с прямоугольным центральным керном:**

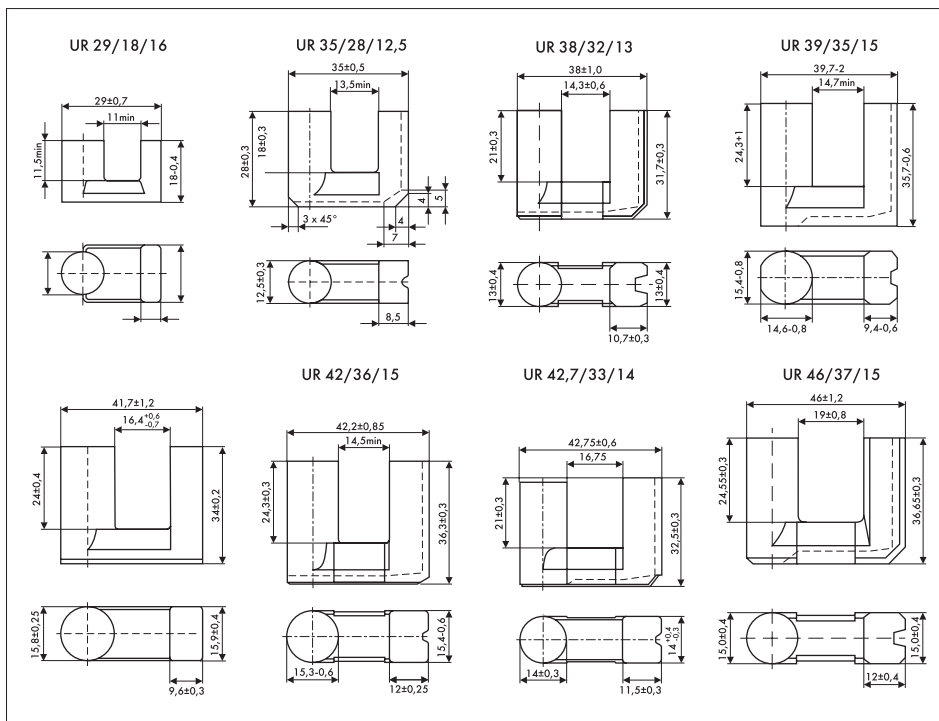
- E-сердечники;
- EFD-сердечники;
- ELP-сердечники;
- EV-сердечники.

Выпускается широкий ряд обычных E-сердечников с прямоугольным сечением центрального керна. EFD-сердечники имеют оптимизированное сечение и позволяют создавать компактные трансформаторы с малой высотой конструкции, что весьма желательно в случае высокочастотных применений.

**г) ELP-сердечники (E Low Profile — низкопрофильные сердечники).**

ELP-сердечники позволяют создать трансформаторы очень малой высоты с плоскими обмотками. Особенностью таких трансформаторов являются прекрасные тепловые характеристики, обусловленные, с одной стороны, технологией выполнения плоских обмоток, а с другой — большой поверхностью сердечника.

**E-сердечники без зазора и с зазором**



Даже при лучших методах шлифования, достижимых сегодня, существует определенная шероховатость (примерно 6 мкм) на прималяющих поверхностях кернов сердечников «без зазора». («ungapped» cores). Допуск на значение  $A_L$  (индуктивность на виток) сердечников типа E, ER, ETD, ЕС, EFD и EV составляет  $+30 / -20 \%$ .

E-сердечники малых размеров: E5, E6,3 и E8,8, выполненные из материала T38, имеют большой допуск —  $+40 / -30 \%$ . E-сердечники, выпускаемые из материала T42 (E13, E16), имеют допуск  $\pm 30 \%$ .

Как и для сердечников без зазора, существует определенная шероховатость на прималяющих поверхностях крайних кернов.

Размер зазора (g), мм	Допуск, мм
$g < 0,1$	$\pm 0,01$
$0,1 \leq g < 0,5$	$\pm 0,02$
$g \geq 0,5$	$\pm 0,05$

В справочных данных указываются максимальные потери при определенных параметрах измерения для каждого типа сердечника. Индукция рассчитывается для синусоидальной формы напряжения и указывается для минимальной площади сечения  $A_{min}$ .

Каркасы для всех сердечников ETD, ЕС и ER, а также для большей части E-сердечников выполнены таким образом, чтобы намотка могла производиться полностью автоматически. Каркасы для ЕС-сердечников, сами сердечники и их монтажная арматура соединяются с помощью винтов.

Для сердечников с прямоугольным центральным керном (E-сердечники) расчетная высота обмотки из-за изменения формы обмотки от слоя к слою должна проверяться соответствующими испытаниями.

**Сердечники U, UI, UR**

Сердечники U и I выполнены из материалов N27, N53, N62 и N82. Благодаря большой

индукции насыщения, высокой температуре точки Кюри и низким потерям этих ферритов сердечники находят применение в мощных, импульсных и высоковольтных трансформаторах (в частности, в трансформаторах для телевизионной техники, в дросселях с большой энергией, катушках для систем зажигания).

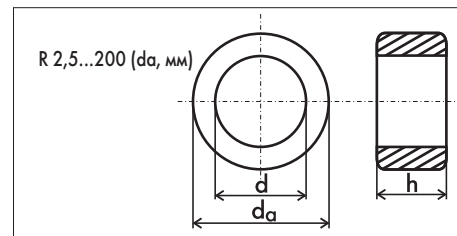
Типовыми для данной серии являются U-сердечники с прямоугольным сечением кернов и UR-сердечники, имеющие один круглый и один прямоугольный керны. Сердечники UU и UI с прямоугольным сечением кернов предпочтительны для мощностей  $>1$  кВт, поскольку они позволяют образовывать единый магнитопровод различными способами.

Сердечники U и I поставляются отдельными составными частями, а не как сердечники целиком.

U-сердечники с одним укороченным керном для создания зазора поставляются по заказу.

Для каждого сердечника указываются значения  $A_L$  (индуктивность на виток) и потери в сердечнике при заданных условиях.

**Кольцевые сердечники (Ring Cores)**



При постоянно увеличивающемся количестве электрического и электронного оборудования становится чрезвычайно важным иметь гарантии, что все оборудование будет работать одновременно, выдерживая нормы по электромагнитной совместимости (ЭМС) и не оказывая взаимного влияния.

Нормативы по ЭМС, которые вошли в силу с начала 1996 года, применяются ко всем электрическим и электронным изделиям в странах

общего рынка, как новым, так и уже существующим. Поэтому созданные (существующие) изделия, вероятно, должны быть модернизированы таким образом, чтобы они не являлись чувствительными к электромагнитным помехам и не создавали паразитного излучения.

Ферритовые кольца идеально подходят для этих целей, поскольку они могут подавлять помехи в широком частотном диапазоне. На частотах выше 1 МГц ферритовые кольца, намотанные на проводящий провод, приводят к увеличению импеданса этого проводника. Активная составляющая импеданса подавляет энергию помех. Пригодность феррита к подавлению помех в заданном частотном спектре зависит от его магнитных свойств, которые изменяются с ростом частоты. Перед выбором материала должна быть известна зависимость модуля

импеданса ( $|Z|$ ) от частоты. Кривая импеданса характеризуется резким возрастанием потерь в материале при резонансе.

В справочных данных приводятся частотные свойства материалов, полученные с помощью анализатора импеданса при индукции не более 1 мТ. Для прямого сравнения типовых характеристик подавления кривые импеданса нормализованы и также приводятся в справочных данных.

Следует отметить, что ферритовые кольца могут с успехом применяться для силовых, драйверных и токовых трансформаторов при различных частотах.