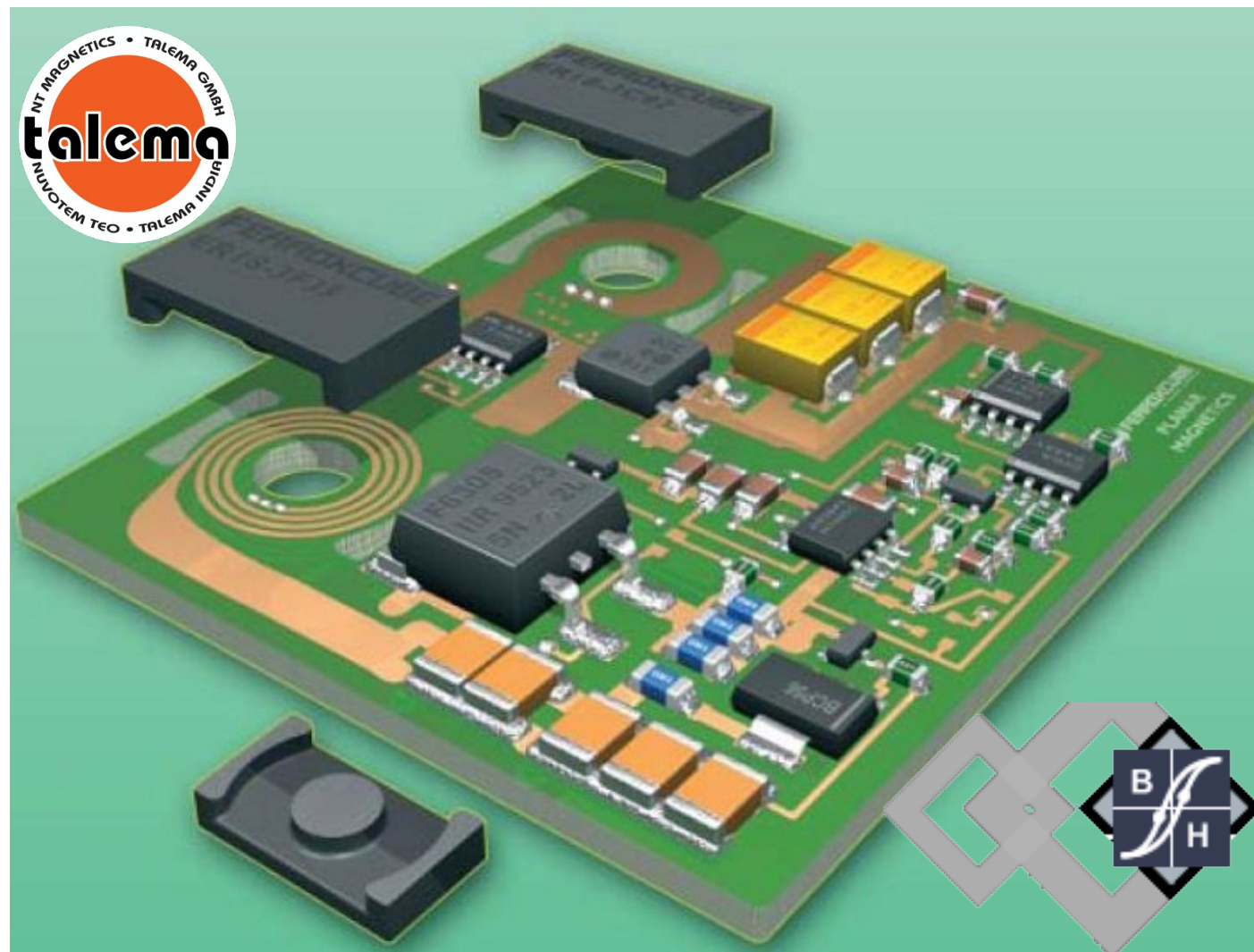


Глава 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАГНИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ



Материалы магнитные. Общие понятия.

Термин	Определение
Ферромагнетик	Кристаллическое вещество, в котором магнитные моменты атомов или ионов находятся в состоянии самопроизвольного упорядочения, причем результирующие магнитные моменты каждого из доменов отличны от нуля
Ферримагнетик	Кристаллическое вещество, магнитную структуру которого можно представить в виде двух или более подрешеток, магнитные моменты атомов или ионов которых находятся в состоянии самопроизвольного магнитного упорядочения, причем результирующие магнитные моменты каждого из доменов отличны от нуля
Магнитный материал	Материал, обладающий свойствами ферромагнетика или ферримагнетика
Домен	Область в магнитном материале или антиферромагнетике, имеющая пространственно однородное упорядочение магнитных моментов атомов или ионов

Материалы магнитные. Общие понятия.

Термин	Определение
Точка Кюри	Критическая температура, выше которой ферромагнетик (ферримагнетик) становится парамагнетиком
Точка Нееля	Критическая температура, выше которой антиферромагнетик (ферримагнетик) становится парамагнетиком
Магнитомягкий материал	Магнитный материал с коэрцитивной силой по индукции не более 4 кА/м
Манитотвердый материал	Магнитный материал с коэрцитивной силой по индукции не менее 4 кА/м

Материалы магнитные. Процессы и состояния.

Термин	Определение
Намагничивание	Процесс, в результате которого под воздействием внешнего магнитного поля возрастает намагниченность магнитного материала
Размагничивание	Процесс в результате которого под воздействием <i>внешнего магнитного поля</i> уменьшается намагниченность магнитного материала
Перемагничивание	Процесс, в результате которого под воздействием <i>внешнего магнитного поля</i> направление вектора намагниченности магнитного материала меняется на противоположное
Размагниченное состояние	Состояние магнитного материала, при котором значение его намагниченности равно нулю
Магнитный гистерезис	Неоднозначная зависимость магнитной индукции (намагниченности) магнитного материала от напряженности внешнего магнитного поля при его квазистатическом изменении

Материалы магнитные. Общие характеристики и параметры.

Термин	Определение
Петля магнитного гистерезиса по индукции	Замкнутая кривая, выражающая зависимость магнитной индукции материала от амплитуды напряженности магнитного поля при периодическом достаточно медленном изменении последнего
Прямоугольная петля магнитного гистерезиса	Петля магнитного гистерезиса, у которой отношение магнитной индукции при нулевой напряженности магнитного поля к магнитной индукции, соответствующей напряженности магнитного поля, превышающего коэрцитивную силу в заданное число раз, <i>не менее 0,85</i>
Симметричная петля магнитного гистерезиса	Петля магнитного гистерезиса, получаемая при циклическом изменении напряженности магнитного поля между равными по абсолютному значению максимальной и минимальной напряженностями и симметричная относительно начала координат

Материалы магнитные. Общие характеристики и параметры.

Термин	Определение
Несимметричная петля магнитного гистерезиса	Петля магнитного гистерезиса, получаемая при циклическом изменении напряженности магнитного поля <i>между неравными</i> по абсолютному значению максимальной и минимальной напряженностями
Предельная петля магнитного гистерезиса	Симметричная петля магнитного гистерезиса, максимальное значение напряженности которой соответствует намагниченности технического насыщения.
Начальная кривая намагничивания	Кривая, выражающая зависимость намагниченности от напряженности магнитного поля в процессе намагничивания предварительно технически размагниченого магнитного материала при последовательном возрастании напряженности магнитного поля

Материалы магнитные. Общие характеристики и параметры.

Термин	Определение
Основная кривая намагничивания	Кривая, представляющая собой геометрическое место вершин симметричных петель магнитного гистерезиса, которые получаются при последовательно возрастающих максимальных значениях напряженности магнитного поля
Намагниченность технического насыщения	Намагниченность магнитного материала, подвергнутого воздействию такого внешнего магнитного поля, при увеличении напряженности которого намагниченность <i>не может быть существенно повышена</i>
Индукция технического насыщения	Значение индукции магнитного материала, определяемое экстраполяцией из области напряженностей магнитных полей, соответствующих намагниченности технического насыщения, к нулевому значению напряженности магнитного поля

Материалы магнитные. Общие характеристики и параметры.

Термин	Определение
Остаточная индукция	Индукция, сохраняющаяся в магнитном материале намагничивания его до намагниченности технического насыщения и уменьшения напряженности магнитного поля в нем до нуля
Коэрцитивная сила по индукции	Величина, равная напряженности магнитного поля, необходимого для изменения магнитной индукции от остаточной индукции до нуля
Начальная магнитная проницаемость	Значение магнитной проницаемости на начальной или основной кривой намагничивания по индукции при стремлении напряженности магнитного поля к нулю, деленное на магнитную постоянную
Максимальная магнитная проницаемость	Максимальное значение магнитной проницаемости как функции напряженности магнитного поля на основной кривой намагничивания по индукции

Материалы магнитные. Общие характеристики и параметры.

Термин	Определение
Обратимая магнитная проницаемость	Предел отношения изменения магнитной индукции к удвоенной амплитуде изменения напряженности магнитного поля в данной точке начальной кривой намагничивания по индукции (петли магнитного гистерезиса), деленный на магнитную постоянную
Дифференциальная магнитная проницаемость	Производная от магнитной индукции по напряженности магнитного поля в данной точке начальной кривой намагничивания по индукции (петли магнитного гистерезиса), деленная на магнитную постоянную
Импульсная магнитная проницаемость	Отношение приращения индукции к приращению напряженности магнитного поля в материале при намагничивании импульсом тока определенной формы, амплитуды и длительности, деленное на магнитную постоянную

Материалы магнитные. Общие характеристики и параметры.

Термин	Определение
Магнитная вязкость	Свойство магнитного материала, которое проявляется в зависимости реакции магнитного материала на приложенное магнитное поле от длительности воздействия этого поля
Удельные магнитные потери	Мощность, поглощаемая в единице массы магнитного материала и рассеиваемая в виде тепла при воздействии на материал меняющегося во времени магнитного поля
Удельные объемные магнитные потери	Мощность, поглощаемая в единице объема магнитного материала и рассеиваемая в виде тепла при воздействии на материал меняющегося во времени магнитного поля
Удельные магнитные потери на гистерезис	Часть удельных магнитных потерь, обусловленная явлением магнитного гистерезиса

Материалы магнитные. Общие характеристики и параметры.

Термин	Определение
Удельные магнитные потери на вихревые токи (потери на вихревые токи)	Часть удельных магнитных потерь, обусловленная вихревыми токами
Нестабильность магнитной величины	Относительное изменение магнитной величины, вызванное воздействием на магнитный материал механических, климатических и других внешних факторов
Средний температурный коэффициент магнитной величины	Отношение относительного изменения магнитной величины, вызванного изменением температуры, к разности конечной и начальной температуры
Температурный коэффициент магнитной величины	Предельное значение среднего температурного коэффициента магнитной величины, когда разность температур стремится к нулю

Ферритовые материалы (ферриты)

Ферриты - химические соединения окиси железа Fe_2O_3 с окислами других металлов. У многих ферритов сочетаются высокая намагниченность и полупроводниковые или диэлектрические свойства, благодаря чему они получили широкое применение как магнитные материалы в электронной технике.

Благодаря очень малой удельной электропроводности ферритов в материале при перемагничивании практически не возникают вихревые токи и, следовательно, отсутствуют потери энергии, что обуславливает возможность использования ферритов в высокочастотных магнитных элементах.

Технология производства **ферритовых сердечников** основана на методах порошковой металлургии. Из смеси порошков исходных веществ прессуют сердечники нужной формы. Спекание производят при температуре 850–1500 °С в воздушной среде с последующим медленным (в течение нескольких часов) охлаждением.

Ферритовые материалы (ферриты)

Магнитные и диэлектрические свойства ферритовых сердечников зависят от состава смеси, процентного содержания исходных компонентов в ней и режима термической обработки, меняя которые можно получать сердечники **с заданными свойствами**. Магнитные и электромагнитные параметры ферритовых сердечников постоянно улучшаются, а ферритовые сердечники с успехом используются в магнитных элементах самого различного назначения и применения. **Наибольшее применение находят никель-цинковые и марганец-цинковые ферриты**. 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 Кюри.

Ферритовые материалы (ферриты)

Ферритовые материалы представлены большим числом конфигураций

(RM-сердечники, PM-сердечники, EP- сердечники, P- сердечники, TT/PR- сердечники, E- сердечники, ELP- сердечники, ETD- сердечники, PQ- сердечники, сердечники конфигураций U, UI, UR, кольцевые сердечники (Ring Cores), кольцевые ферритовые сердечники с зазором и другие конфигурации сердечников) и выпускаются для мощностей магнитных элементов от десятых долей ватта до нескольких киловатт.

Ферритовые сердечники производят отечественные компании, например, ГАММАМЕТ и ОАО Ферроприбор , а также зарубежные компании, например, EPCOS (SIEMENS), MAGNETICS, TDK, Ferroxcube (PHILPS), COSMO, HITACHI (NIPPON), NICERA, TOKIN, MMG-NEOSID, ISU, VOGT, KAWATETTSU, SAMWHA, THOMSON, ACME и другие.

Ферритовые материалы (ферриты)

Электромагнитные параметры наиболее часто используемых марок силовых ферритов приведены в [таблице 1](#).

Материалы, предлагаемые зарубежными изготовителями, отличаются высоким потребительским качеством и значительно превосходят морально устаревшие отечественные марки М2500НМС1 и М2500НМС2 по электромагнитным параметрам (так, в контрольной точке на 100 кГц при 100°С и $B = 0,2$ Тл потери в феррите марки N87 (Epcos) и 3C90 (Ferroxcube) составляют примерно 385 мВт/см³, что ориентировочно [в 3,5 раза меньше](#), чем у М2500НМС1).

В последнее время на российском рынке усиливается интерес и к новейшим маркам силовых материалов, аналогичным:

[N97, Epcos](#) – с уровнем потерь на 20% ниже, чем у базового материала N87.

[N92, Epcos](#) – который насыщается при токе, на 20% большем, чем N87.

[N49, Epcos](#) – позволяющий создавать преобразователи на частотах до 1 МГц.

Сравнительные характеристики этих марок и

Ферритовые материалы (ферриты)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФЕРРИТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ
НА ПРИМЕРЕ СЕРДЕЧНИКОВ КВ10(RM10) РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

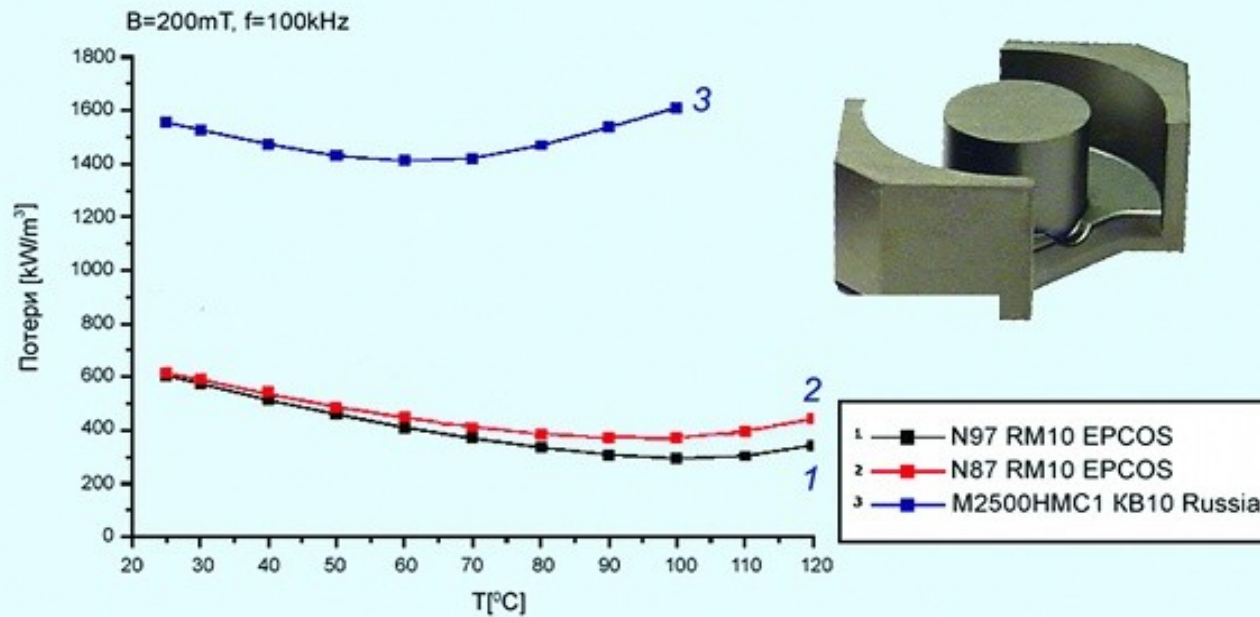


Таблица 1 - Параметры зарубежных марок силовых ферритов

Фирма	Epcos	Ferroxcube	ACME	Cosmo
Марка феррита	N87	3C90	P4	CF138
Начальная магнитная проницаемость	2200 ± 25%	2300 ± 25%	2500 ± 25%	2100 ± 25%
Индукция насыщения, мТл (H=1200 А/м, f=10 кГц)	490/390*	490/390*	490/390*	490/390*
Коэрцитивная сила , А/м (f=100кГц)	21/13*		10/6*	15/x*
Удельные потери мощности, кВт/м³				
f= 25 кГц , B=200мТл, T=100°C	57	80	55	60
f= 100 кГц , B=200мТл, T=100°C	385		450	450
f= 300 кГц , B=200мТл, T=100°C	390		430	390
Температура Кюри, °С	>210	>220	>220	>220
Удельное электрическое сопротивление, Ом·м	10		5,5	4,8
Плотность, г/см³	4,85	4,8	4,8	4,8

В таблице приведены значения параметров при температуре 25/100°C

Таблица 2. Сравнительные характеристики современных ферритов Epcos

Параметры марок ферритов	N87	N97	N92
Индукция насыщения, мТл ($H=1200$ А/м, $f=10$ кГц)	490	510	500
Коэрцитивная сила , А/м ($f=100$ кГц)	21/13*	21/12*	24/13*
Рабочий диапазон частот, кГц	$25 < f < 500$	$25 < f < 500$	$25 < f < 500$
Температура Кюри, °С	$T_K < 210$	$T_K < 230$	$T_K < 280$
Плотность, г/см ³	4850	4850	4850
Удельные потери мощности, кВт/м ³ ($f= 100$ кГц , $B=200$ мТл, $T=100^\circ\text{C}$)	385	300	410
* В таблице приведены значения параметров при температуре 25/100°С			

Таблица 3. Аналоги ферритовых материалов

Ерcos	Россия	Ferroxcube	Samwha	Cosmo
–	M2500HMC1	–	–	–
N27	M2500HMC2	3C80	–	CF196
N87	2500HMC7	3C90	PL9	CF139
N97	2500HMC9	3C94	PL11	–
N92	–	3C92	–	CF122
N49	–	3F3	–	–
N41	3000HMC	–	–	–

Конфигурации ферритовых сердечников Epcos AG



Фирма **Epcos AG** (Германия) является одним из мировых лидеров в области производства современных силовых и сигнальных ферритовых материалов и выпускает **15 стандартных конфигураций** общим количеством **более 2500 наименований ферритовых сердечников** и **намоточных аксессуаров**.



Конфигурации ферритовых сердечников Epcos AG

Наименование	Характеристика эксплуатационных свойств	Конфигурация
Ферритовые сердечники E, EF	Невысокая стоимость сердечников	
	Большой выбор намоточных аксессуаров	
	Низкая стоимость намотки	
Ферритовые сердечники ETD	Удобство намотки и проводом и лентой	
	Низкая стоимость намотки	
Ферритовые сердечники ELP	Создание магнитных элементов с наименьшей высотой	
	Возможность изготовления магнитных элементов на основе печатных обмоток	



Конфигурации ферритовых сердечников Epcos AG

Наименование	Характеристика эксплуатационных свойств	Конфигурация
Ферритовые сердечники EFD	Низкопрофильная конструкция	
Ферритовые сердечники ER	Низкопрофильная конструкция	
	Низкая стоимость намотки	
	Возможность изготовления магнитных элементов на основе печатных обмоток	
Повышение технологичности сборки изделий за счет поверхностного монтажа		
Ферритовые сердечники RM	Большая номенклатура	
	Возможность точной настройки индуктивности	
	Низкая стоимость намотки	



Конфигурации ферритовых сердечников Epcos AG

Наименование	Характеристика эксплуатационных свойств	Конфигурация
Ферритовые сердечники ER, ERX, EPO	Высокая помехозащищенность	
	Эффективное использование места на плате	
	Низкая стоимость намотки	
Ферритовые сердечники RM	Эффективное использование места на плате	
	Возможность использования в изделиях энергетической электроники большой мощности	
	Низкая стоимость намотки	
Ферритовые сердечники PQ	Уменьшенные габариты магнитных элементов	
	Низкая стоимость намотки	



Конфигурации ферритовых сердечников Epcos AG

Наименование	Характеристика эксплуатационных свойств	Конфигурация
Ферритовые сердечники Р (РОТ)	Большая номенклатура	
	Низкая стоимость намотки	
Ферритовые кольца R	Низкая стоимость сердечников	
	Наименьшая величина индуктивности рассеивания	
	Наличие защитного диэлектрического покрытия	
Ферритовые сердечники П-образные и пластинчатые U,I	Возможность создания «сборных» магнитопроводов магнитных элементов	
	Возможность использования в изделиях энергетической электроники большой мощности	

Конфигурации ферритовых сердечников Epcos AG. Сердечники конфигурации E.

Фирма Epcos выпускает **29 наименований** типоразмеров ферритовых **сердечников E** размером **от E5 до E80/30/20**. Наиболее часто применяются сердечники из базовых силовых марок феррита N27 (для трансформаторов и дросселей, предназначенных для работы в диапазоне частот до 100 кГц) и N87 (до 500 кГц).

К преимуществу использования ферритовых сердечников конфигурации E можно отнести невысокую стоимость самих сердечников в сочетании с большим выбором намоточных каркасов, а также низкую трудоемкость изготовления на нихмоточных изделий за

Обозначение ферритовых сердечников E в конструкторской документации

Пример расшифровки кода EPCOS и обозначение в конструкторской документации:

Единица измерения — **штука (половинка)**

E42/21/20 B66329GX187 — полное наименование ферритового сердечника.

E42/21/20 — конфигурация и типоразмер сердечника.

B66329 — код типоразмера E42/21/20.

87 — сердечник выполнен из феррита марки N87.

Конфигурации ферритовых сердечников Epcos AG.

Сердечники конфигурации ETD.

Фирма Epcos изготавливает 7 типоразмеров сердечников из феррита конфигурации ETD. В изделиях российской электроники в большинстве случаев применяются сердечники ETD из базовой силовой марки феррита N87, предназначенной для использования в частном диапазоне до 500 кГц.

К преимуществу использования конфигурации ETD можно отнести удобство намотки обмоток толстым проводом и медной лентой, большое число выводов намоточных каркасов, обеспечивающих модульность конструкции многообмоточного трансформатора, а также низкую трудоемкость изготовления на них моточных изделий. Стандартные ряды вертикальных и горизонтальных намоточных каркасов помогают оптимизировать расположение трансформатора на сердечнике ETD на печатной плате.

Конфигурации ферритовых сердечников Ersos AG.

Сердечники конфигурации ETD.

Существенным фактором в пользу использования данных сердечников в новых разработках является также широкое применение всех типоразмеров этой конфигурации в изделиях российской силовой электроники, уменьшающее сроки и цены поставок.

Широкие ряды стандартно выпускаемых ферритовых сердечников ETD

с зазором обеспечивает дополнительную возможность

ую

Обозначение ферритовых сердечников ETD в конструкторской документации

Пример расшифровки кода Ersos и обозначение в конструкторской документации:

Единица измерения — **штука (половинка)**.

N87 ETD29/16/10 B66358GX187 — наименование ферритового материала.

ETD29/16/10 — конфигурация и типоразмер сердечника.

B66358 — код типоразмера ETD29/16/10.

87 — сердечник выполнен из феррита марки N87.

Конфигурации ферритовых сердечников Ercos AG.

Сердечники конфигурации

ELP. Фирма Ercos изготавливает 8 стандартных типоразмеров ферритовых сердечников конфигурации ELP из современных марок силовых феррита, обеспечивающих возможность создания трансформаторов с рабочей частотой до 1 МГц (марка феррита N49).

Преимуществом выполнения конструкции трансформатора или дросселя на многослойных печатных обмотках на основе ферритовых сердечников ELP является:

Существенное уменьшение габаритов и массы точного изделия, низкая высота по сравнению с аналогичными традиционными ферритовыми трансформаторами.

Высокая надежность, связанная с исключением элемента ошибок ручного труда при намотке и монтаже трансформаторов.

Низкая стоимость изготовления при крупносерийном производстве.

Более высокий срок службы, связанный с улучшением отвода тепла и надежностью конструкции.

Меньшая величина паразитных параметров, в частности индуктивности рассеяния.

При работе на высоких частотах значительно уменьшаются потери в обмотках из-за скин-эффекта и эффекта близости.

Высокая повторяемость ферритовых точных изделий в серии.

Конфигурации ферритовых сердечников Ercos AG.

Сердечники конфигурации

ELP Ферритовые сердечники **ELP** предназначены для изготовления малогабаритных низкопрофильных трансформаторов и дросселей, обмотки которых выполняются в виде дорожек на многослойной печатной плате или (для мощных применений) в виде вырубленных из медной ленты изолированных слоев.

Для получения возможности дополнительного уменьшения высотымоточного изделия на печатной обмотке сердечники **ELP** выпускаются

В **Обозначение ферритовых сердечников ELP в конструкторской документации**

N87 ELP18/4/10 B66283-G-X187

B66283 — код изделия ELP 18/4/10

G — исполнение в варианте ELP (P — в варианте замыкающей пластины I)

87 — марка материала (N87)

N87 ELP 32/6/20 B66287U315A187

B66287 — код изделия ELP 32/6/20

U315 — сердечник с зазором с $Al=315$ нГн

A — класс точности исполнения зазора по AL ($\pm 3\%$)

87 — марка материала (N87)

Конфигурации ферритовых сердечников Ercos AG.

Сердечники конфигурации

EFD. Фирма Ercos выпускает 5 стандартных типоразмеров ферритовых сердечников конфигурации **EFD** (Economic Flat Transformer Design) из силовых марок феррита N87, N97, N92, N49, а также высокопроницаемой марки феррита N30.

Преимуществом сердечников конфигурации **EFD** является возможность создания на их базе низкопрофильных компактных трансформаторов на основе традиционной рядовой станочной намотки.

Низкая высота готовых ферритовых трансформаторов и дросселей обеспечивает высокую механическую устойчивость

Обозначение ферритовых сердечников EFD в конструкторской документации

Пример расшифровки кода EPCOS и обозначение в конструкторской документации:

N87 EFD15/8/5 A=160нГн B66413-U160-K187

Единица измерения — **штука**

B66413 — код типоразмера сердечника EFD15

U160 — исполнение с зазором A=160 нГн

K — величина разброса по коэффициенту одновитковой индуктивности
Al ($\pm 10\%$)

87 - марка материала (N87)

ь

Конфигурации ферритовых сердечников Epcos AG.

Сердечники конфигурации

ER. Ферритовые сердечники конфигурации **ER** предназначены для создания низкопрофильных малогабаритных трансформаторов и дросселей для поверхностного монтажа или основе многослойных обмоток на печатной плате.

Для сердечников конфигураций ER9,5/5, ER11/5 и ER14,5/6 выпускаются каркасы и крепежная арматура для поверхностного

Обозначение ферритовых сердечников ER в конструкторской документации

Пример расшифровки кода EPCOS и обозначение в конструкторской документации:

N87 ER11,5/5 A=160 нГн ±3% B66325-J160-A87 — полное наименование ферритового сердечника.

ER11,5/5 — конфигурация и типоразмер сердечника.

B66325 — код типоразмера ER11,5/5.

160 — сердечник выполнен с зазором, соответствующим коэффициенту одновитковой индуктивности $AL=160$ нГн.

A — точность исполнения зазора по AL ($\pm 3\%$).

87 — сердечник выполнен из феррита марки N87.

Конфигурации ферритовых сердечников Epcos AG.

Сердечники конфигурации

RM. Фирма **EPC-TDK** выпускает 8 типоразмеров сердечников конфигурации **RM** в вариантах исполнения с стандартной и заниженной высотой (Low profile). Конфигурация ферритовых сердечников **RM** (Rectangular Module) была разработана в связи с необходимостью создания ферритовых магнитопроводов модульного типа с интегрированными в конструкцию каркасами со штырьками для повышения производительности труда при монтаже на печатную плату. Геометрические размеры ферритовых сердечников конфигурации **RM** были разработаны в соответствии с требованиями к компактному расположению на печатной плате. Так, например, обозначение **RM6** соответствует сердечнику, занимающему вместе с каркасом на печатной плате 6x6 квадратов со стороной 2,54 мм.

Наиболее распространенными применениями ферритовых сердечников **RM** являются:

Высокостабильные высокоточные индуктивности, характеризующиеся высокой добротностью, работающие в широком интервале температур (ферриты марок K1, M33, N48).

Малогабаритные широкополосные согласующие трансформаторы (ферритовые материалы N30, T38, T66, T57).

Компактные трансформаторы и дроссели для силовой электроники для двухтактных и однотактных импульсных источников питания (из феррита силовых марок N41, N51, N87, N97), работающие в

Конфигурации ферритовых сердечников Ercos AG.

Сердечники конфигурации

Для создания низкопрофильных трансформаторов и дросселей, на основе рекомендаций МЭК, фирмой Ercos AG был разработан стандартный ряд низкопрофильных (**Low profile**) ферритовых сердечников RM с пониженной высотой.

Обозначение ферритовых сердечников RM в конструкторской документации

Единица измерения — комплект

N87 RM10 A=400 нГн B65813-J400-A87

B65813 — код типоразмера ферритового сердечника RM10

J400 — величина зазора отобрана для обеспечения $AL=400$ нГн *

A87 — сердечник P изготовлен из материала N87. Величина разброса по AL составляет $\pm 3\%$.

A, C, D — исполнение в варианте с отверстием по центральному керну, предусматривающее возможность использования подстроечного сердечника.

F, N — исполнение с пластмассовой втулкой для подстроечника впрессованной в отверстие по центральному керну ферритовой чашки.

E, J — в конструкции сердечника P отсутствует отверстие в центральном керне

P — исполнение с заниженной высотой (Low profile).

Конфигурации ферритовых сердечников
Ercos AG.

Сердечники конфигурации

EP. Фирма Ercos выпускает **6 типоразмеров** ферритовых сердечников **EP** и **4 типоразмера ферритовых сердечников конфигураций EPO и EPX** из силовых и широкополосных марок феррита. Ферритовые сердечники **EP, EPO, EPX предназначены** для использования в качестве магнитопроводов трансформаторов. Кубическая конструкция сердечников обеспечивает высокую компактность использования места на печатной плате.

Магнитопроводы на основе ферритовых сердечников EP, EPO, EPX, изготовленные из широкополосных материалов N30, T38, T65, T57, T66 характеризуются высокой степенью помехозащищенности, малой индуктивностью рассеяния и широко применяются для изготовления малогабаритных сигнальных и абонентских трансформаторов и трактах xDSL.

Конфигурации ферритовых сердечников
Ercos AG.

Сердечники конфигурации

EP Для силовых применений в области частот до 300 кГц используется серия магнитопроводов EP7-EP20 из феррита марки N87.

Широкая номенклатура каркасов для объемного и поверхностного монтажа, а также крепежных скоб обеспечивает модульность конструкции готового

Обозначение ферритовых сердечников EP, EPX, EPO в конструкторской документации.

Единица измерения — **комплект**

N87 EP7 B65839-A-R87

B65839 — код типоразмера EP7

R — величина разброса по коэффициенту одновитковой индуктивности ($\pm 25\%$)

87 — сердечник выполнен из феррита марки N87.

Конфигурации ферритовых сердечников Ercos AG.

Сердечники конфигурации

Серия PM получила свое название от английского словосочетания (for POT core MODULE) и характеризуется высокой компактностью и модульностью конструкции.

Броневые модульные сердечники PM предназначены для использования в качестве магнитопроводов мощных силовых трансформаторов, работающих в диапазоне частот до 300 кГц.

Минимальный типоразмер PM 50/39 имеет габаритные размеры соответственно 50 мм на 39 мм - для двух сердечников в сборе. Максимальный типоразмер - PM 114/93 - с габаритными размерами соответственно 114 на 93 мм.

Каркасы к ферритовым сердечникам типоразмеров до PM87/70 выпускаются в варианте со штырьками для монтажа на печатной плате и без. Каркасы к более крупным сердечникам серии PM114/93 выпускаются в варианте без штырьков.

Крепежные приспособления выпускаются для сердечников типоразмеров от PM50/39 до PM74/50

Конфигурации ферритовых сердечников Ercos AG.

Сердечники конфигурации

Броневые модульные сердечники РМ нашли широкое применение в области телекоммуникаций и промышленной электроники.

Это объясняется высокой мощностью при минимальном количестве витков, низким магнитным рассеянием и паразитной емкостью, хорошим экранированием за счет закрытой формы, прецизионно выполненным магнитным зазором, простотой сборки и малыми габаритами.

Область применения РМ-сердечников – это мощные импульсные трансформаторы в радиолокационных передатчиках, антенно-согласующие схемы, системы управления, трансформаторы и дроссели в импульсных источниках питания.

единица измерения — комплект

N87 РМ114/93 В65733-А-R87

В65733 — код типоразмера РМ114/93

87 — сердечник изготовлен из материала N87

Конфигурации ферритовых сердечников
Ercos AG.

Сердечники конфигурации

PQ. Ферритовые сердечники конфигурации **PQ** фирмы **TDK-EPС** являются дальнейшим развитием серии E-образных сердечников. **Преимуществом** использования ферритовых сердечников серии PQ по сравнению с сердечниками серий ETD/ER/E является возможность снижения габаритов и массы аналогичного по мощностимоточного изделия.

Уменьшение длины намоточного провода, необходимого для изготовления трансформаторов, по сравнению с вышеперечисленными конфигурациями способствует снижению

Обозначение ферритовых сердечников PM в конструкторской документации

Единица измерения — комплект

N87 PQ32/30 B65679BR87

B65679 — код конфигурации сердечника PQ32/30

87 — сердечник изготовлен из марки феррита N87

Конфигурации ферритовых сердечников
Ercos AG.

Сердечники конфигурации P.

Ферритовые сердечники **конфигурации P (Pot cores)** выпускаются фирмой Ercos AG в широкой гамме типоразмеров.

Типовыми применениями ферритовых чашек P могут быть:

Высокоточные термостабильные индуктивности для резонансных цепей и фильтров, работающие в широком интервале температур (марки феррита K1, M33, N48).

Широкополосные сигнальные трансформаторы с высоким значением одновитковой индуктивности (марки феррита T38, K1).

Применения в силовой электронике. Для этих целей сердечники P выпускаются из силового ферритового материала N87 и N41 и характеризуются высоким значением эффективной площади, высоким значением одновитковой индуктивности и уменьшенным уровнем потерь.

Конфигурации ферритовых сердечников Ercos AG.

Сердечники конфигурации P.

Обозначение ферритовых сердечников P в конструкторской документации

Единица измерения — комплект

N48 P14*8 A=250 нГн ±3% B65641-T250-A48

B65641 — код типоразмера ферритового сердечника P14x8

T250 — величина зазора отобрана для обеспечения $A_L=250$ нГн *

A48 — сердечник P изготовлен из материала N48. Величина разброса по A_L составляет $\pm 3\%$

A, B, D — исполнение в варианте с отверстием по центральному керну, предусматривающее возможность использования подстроечного сердечника

N, T — исполнение с пластмассовой втулка для подстроечника впрессованной в отверстие по центральному керну ферритовой чашки

C, W — в конструкции сердечника P отсутствует отверстие в центральном керне



**Пример сборки
комплекта на
ферритовых
сердечниках
конфигурации P**

Конфигурации ферритовых сердечников Ercos AG.

Сердечники конфигурации PS и

Фирма Ercos выпускает 10 типоразмеров ферритовых сердечников конфигурации PS и PCH с внешним диаметром от 7,35 до 150 мм. Сердечники предназначены для изготовления бесконтактных индуктивных датчиков движения. Ферритовые чашки PS, PCH могут использоваться для контроля местоположения объекта, счетчиков количества оборотов вращающихся деталей, индуктивных датчиков охранных сигнализаций.

Для большинства типоразмеров ферритовых сердечников конфигурации PS, PCH имеется стандартный ряд намоточных каркасов, предназначенных для использования в широком интервале температур от минус 60°C до плюс 120°C.



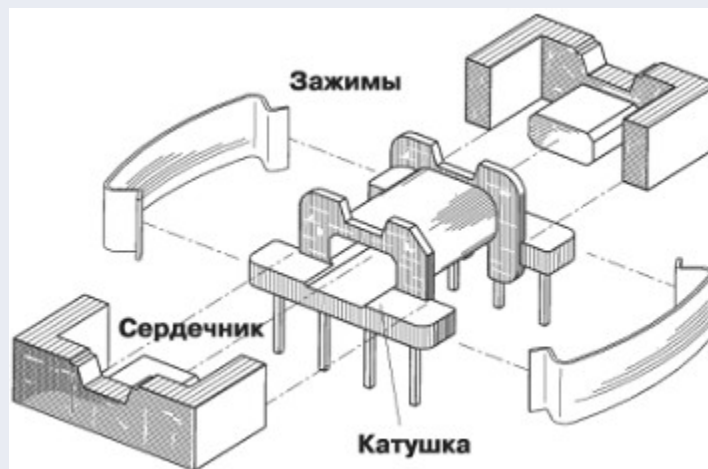
Технология сборки комплекта

сердечников Epcos

Технология сборки

Наименование

Серия EFD



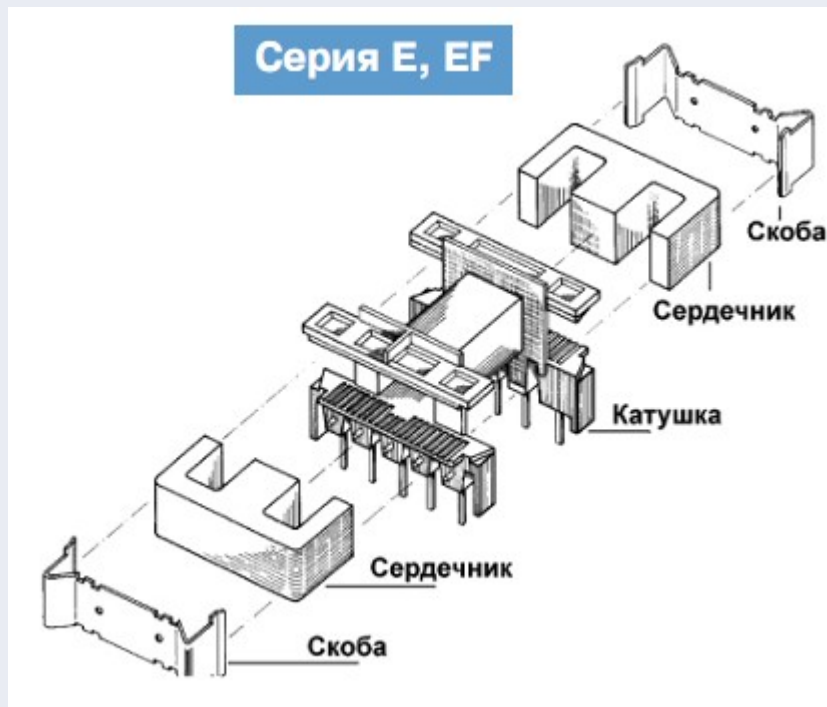


Технология сборки комплекта ферритовых сердечников Epcos

Наименование

Технология сборки

Серия E, EF



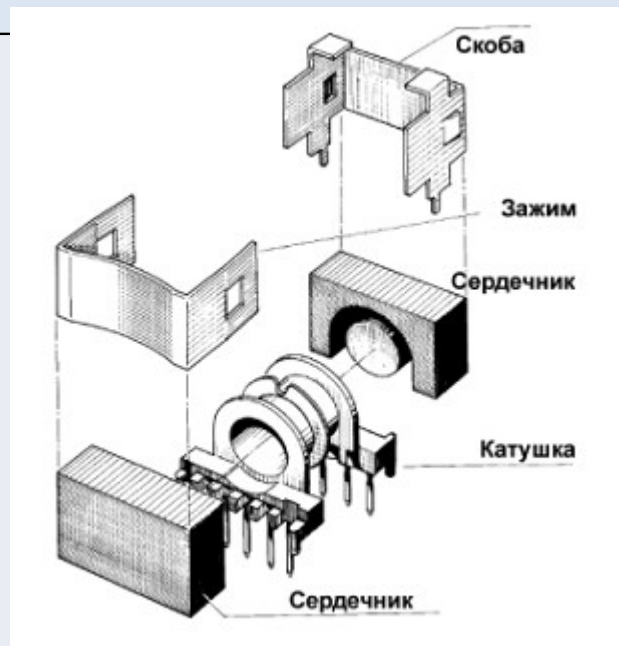


Технология сборки комплекта ферритовых сердечников Epcos

Наименование

Технология сборки

Серия EP





Технология сборки комплекта ферритовых сердечников

Ercos

Наименование

Технология сборки

Серия ЕС

Серия ЕС



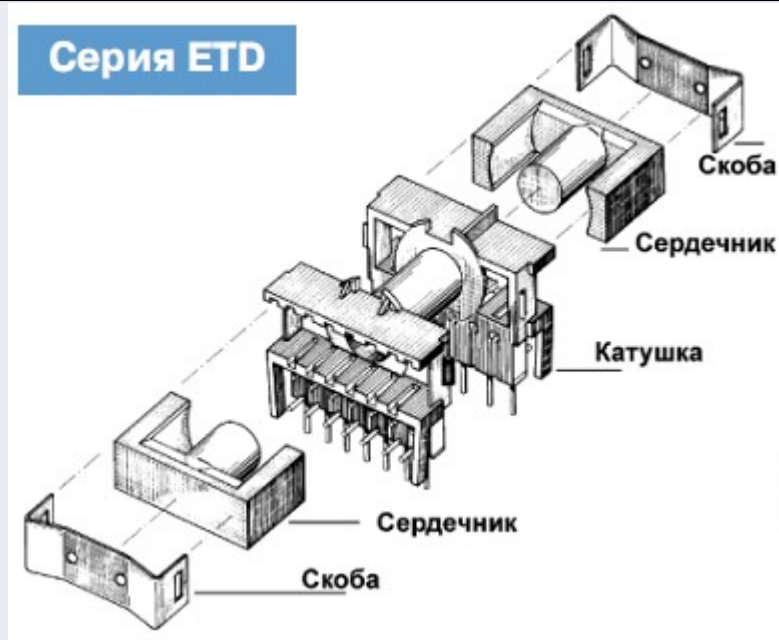


Технология сборки комплекта ферритовых сердечников Epcos

Наименование

Технология сборки

Серия ETD



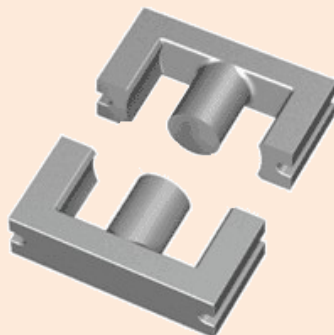
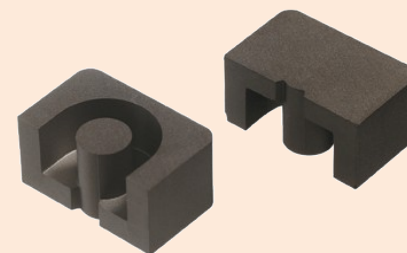
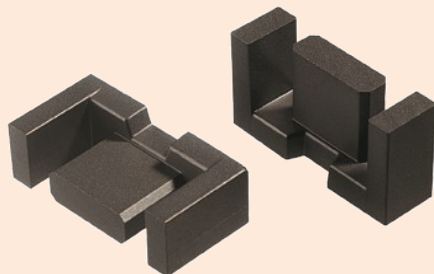
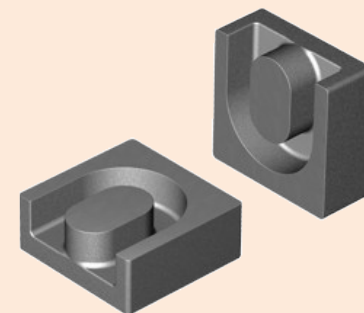


Технология сборки комплекта ферритовых сердечников Epcos

Наименование

Серия PM



Наименование
Конфигурация
Наименование
Конфигурация
**Ферритовые
сердечники
ЕС**

**Ферритовые
сердечники
ЕР**

**Ферритовые
сердечники
ЕFD**

**Ферритовые
сердечники
ЕРХ**


Наименование	Конфигурация	Наименование	Конфигурация
Ферритовые сердечники EQ		Ферритовые сердечник и Planar ER	
Ферритовые сердечники ER		Ферритовые сердечник и P	

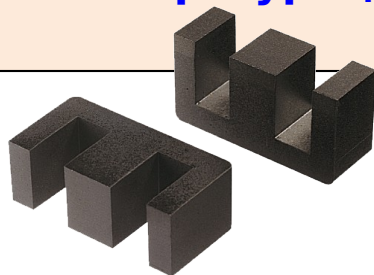
Наименование	Конфигурация	Наименование	Конфигурация
Ферритовые сердечники Frame & bar		Ферритовые сердечники PH	
Ферритовые сердечники PT		Ферритовые сердечники PM	

Конфигурации ферритовых сердечников Ferroxcube

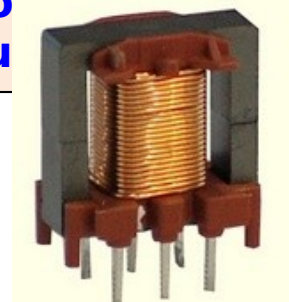
Наименование

**Конфигурации ферритовых сердечников
Ferroxcube**

Ферритовые сердечники E, EF



Конфигурация



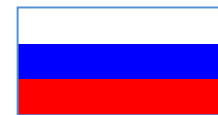
Магнитный элемент на ферритовом сердечнике

Сравнительная таблица марок материалов магнитомягких ферритов Mn-Zn для сильных магнитных полей производства Ферроприбор, Epcos, Samwha.

Диапазон рабочих частот	Производители сердечников		
	Ферроприбор	Epcos	Samwha
До 100кГц	2500НМС2	N27	-
	2500НМС5	N67	PL7
	2500НМС7	N87	PL9
	2500НМС9	N97	PL11
До 16 кГц	3000НМС	N41	



Научно-производственное предприятие «ГАММАМЕТ» (Россия)



Научно-производственное предприятие «ГАММАМЕТ» создано в 1991 году в г. Екатеринбурге. Все эти годы предприятие постоянно расширяется.

НПП «ГАММАМЕТ» производит **аморфные и нанокристаллические сплавы** на основе современной технологии скоростной закалки металлического расплава на поверхности быстро вращающегося барабана-холодильника. Такая технология позволяет получать металлическую ленту с уникальными магнитными, механическими и химическими свойствами. Предприятие обладает полным циклом производства от выплавки сплава и разливки ленты до изготовления магнитопроводов и электромагнитных изделий на их основе.

Продукция Научно-производственного предприятия «ГАММАМЕТ» защищена более 30 патентами Российской Федерации.

Основные виды деятельности: производство аморфной и нанокристаллической ленты из магнитомягких сплавов; производство кольцевых, прямоугольных, разрезных, стержневых магнитопроводов из аморфных и нанокристаллических сплавов **под торговой маркой ГАММАМЕТ**; производство измерительных трансформаторов тока и напряжения, силовых, импульсных, согласующих, накопительных трансформаторов, реакторов различного назначения, работающих при частоте **до 200 кГц**, изготовленных на базе аморфных и нанокристаллических сплавов собственного производства **под торговой маркой ГАММАТРАНС**.

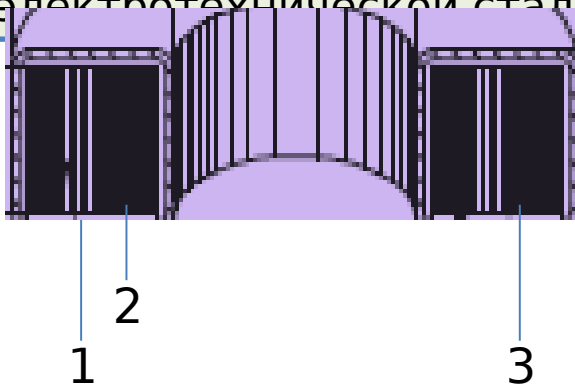
Пример структуры условного обозначения магнитопроводов производства НПП «ГАММАМЕТ»



Маркировка магнитопроводов НПП ГАММАМЕТ состоит из трех частей:
ГМ - **сокращенное обозначение товарного знака** ГАММАМЕТ®.
412В - **обозначение типа магнитопровода**, которое характеризует химический состав магнитного сплава и технологию изготовления магнитопровода.
ОЛ20/32-10 - **обозначение типоразмера магнитопровода**, которое состоит из двух частей: буквы обозначают форму (конфигурацию) магнитопровода, а цифры - геометрические размеры магнитопровода.

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП) «ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Магнитопроводы в защитных контейнерах.

В соответствии с ТУ 1261-030-12287107-2007 магнитопровод в защитном контейнере представляет сборочную единицу, состоящую из магнитопровода (магнитной системы), который помещен в защитный контейнер и закреплен в нем демпфирующим наполнителем. Магнитопроводы изготавливаются из ленты магнитомягких аморфных или нанокристаллических сплавов с номинальной толщиной 25 мкм. Магнитопроводы поставляются после термической обработки, которая формирует гарантированные магнитные свойства. Магнитопроводы могут применяться взамен ферритов, прецизионных сплавов и электротехнической стали на частотах до 1 МГц.



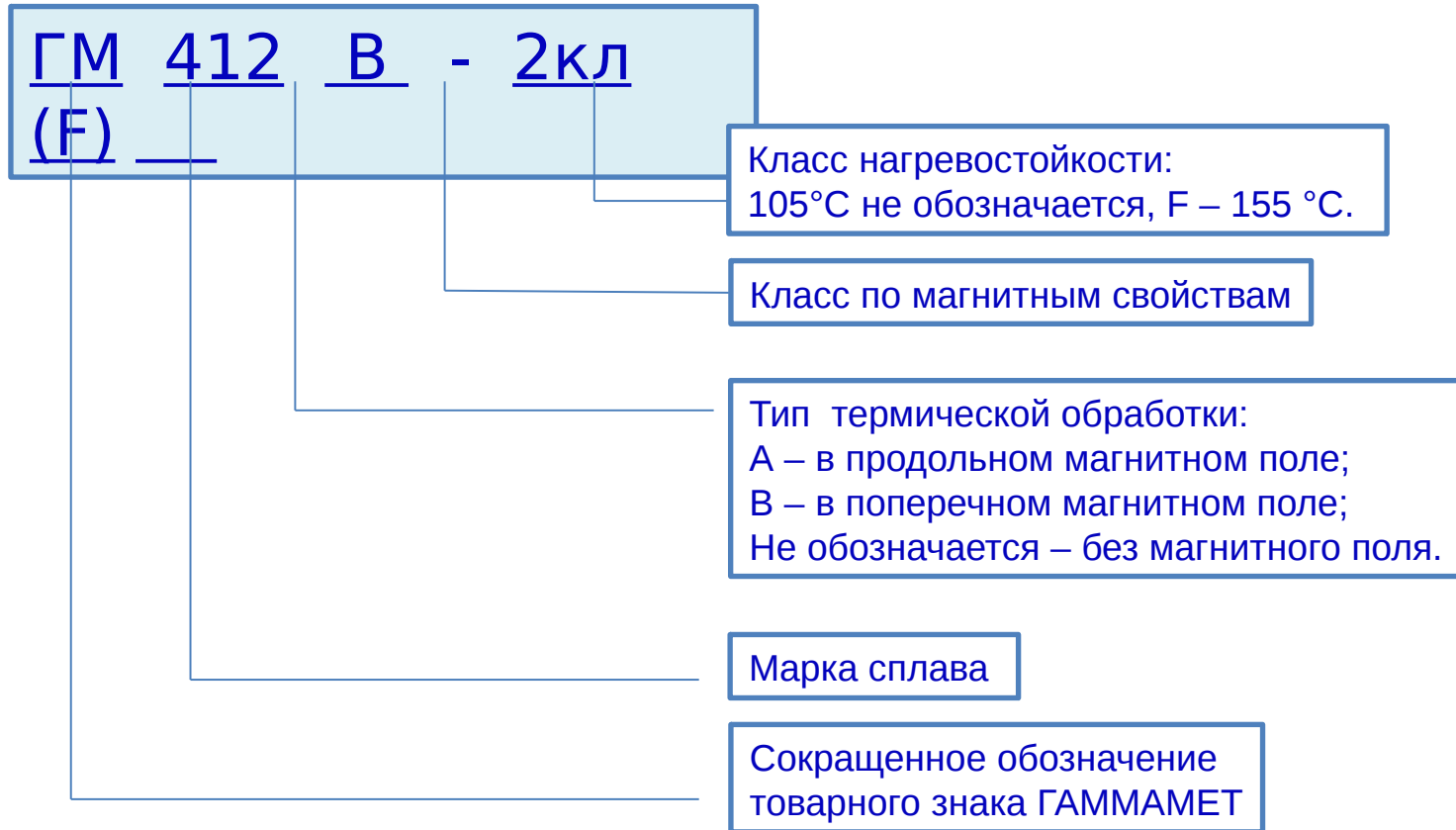
Поперечный разрез магнитопровода в защитном контейнере : 1 - ленточный магнитопровод; 2 - демпфирующий наполнитель; 3 - защитный контейнер.

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП) «ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Магнитопроводы в защитных контейнерах.

В документации других изделий условное обозначение магнитопровода в защитном контейнере должно содержать обозначение типа, типоразмера по ГОСТ 24011 и обозначение настоящих технических условий. Например, магнитопровод ленточный кольцевой в защитном контейнере ГАММАМЕТ 412В, 2 класс по магнитным свойствам, класс нагревостойкости А (105°С), имеющий внутренний диаметр 40 мм, наружный диаметр 64 мм, высоту 30 мм по ТУ 1261-030-12287107-2007 имеет условное обозначение «Магнитопровод ГМ 412В – 2кл ОЛ40/64-30 ТУ 1261-030-12287107-2007». Этот же магнитопровод класса нагревостойкости F (155°С) имеет условное обозначение «Магнитопровод ГМ 412В – 2кл (F) ОЛ40/64-30 ТУ 1261-030-12287107-2007».

Если класс нагревостойкости магнитопровода в защитном контейнере не ниже А (105°С), то буква А в условном обозначении отсутствует.

Структура условного обозначения **типа** магнитопровода
в защитном контейнере НПП «ГАММАМЕТ».



Структура условного обозначения **типоразмера**
магнитопровода
в защитном контейнере НПП «ГАММАМЕТ».



Магнитные свойства магнитопроводов в защитных контейнерах при температуре (25 ± 10)°С

Тип магнитопровода	Класс по магнитным свойствам	$\mu_{0,08}$ не менее	H_C , А/м не более	B_{800} , Тл не менее	$K_{п800}$	$K_{п10}$
ГМ 501	1	100000	0,40	0,4	-	-
	2	150000	0,30			
	3	200000	0,25			
ГМ 414	1	150000	2,5	1,15	-	-
	2	47000	2,0			
	3	70000	1,5			
ГМ 503 В	1	15000	0,8	0,58	не более 0,07	-
	2	30000	0,6	0,55	не более 0,10	-
ГМ 412 В	1	10000	3,0	1,15	не более 0,20	-
	2	20000	2,0	1,15	не более 0,15	-
ГМ 515 В	-	-	2,0	0,90	не более 0,05	-
ГМ 440 В	-	-	8,0	1,45	не более 0,15	-
ГМ 440 А	-	-	8,0	1,45	не менее 0,80	-
ГМ 515 А	-	-	3,0	0,90	не менее 0,90	-
ГМ 503 А	-	-	0,6	0,55	-	0,90
ГМ 412 А	-	-	2,0	1,15	-	0,80

Примечание. $\mu_{0,08}$ – относительная магнитная проницаемость при напряженности магнитного поля 0,08 А/м; B_{800} – магнитная индукция при напряженности магнитного поля 800 А/м; $K_{п800}$ ($K_{п10}$) – коэффициент прямоугольности петли магнитного гистерезиса при напряженности магнитного поля 800 (10) А/м.

Магнитные свойства магнитопроводов в защитных контейнерах «ГАММАМЕТ».

В электротехнических расчётах необходимо учитывать коэффициент заполнения магнитопровода магнитным материалом, номинальное значение которого равно 0,7.

При эксплуатации магнитопроводов в защитных контейнерах следует соблюдать **следующие рекомендации**. При нанесении обмотки на защитный контейнер магнитопровода натяжение провода регулируется так, чтобы не допустить ухудшение магнитных свойств за пределы требований гарантируемых техническими условиями. Конструкция защитного контейнера не удовлетворяет требованию герметичности. Поэтому необходима корректировка режима пропитки трансформатора или дополнительная изоляция защитного контейнера, чтобы исключить попадание лака на магнитопровод.

Температурный режим сушки магнитных элементов должен соответствовать заданному классу нагревостойкости магнитопровода.

Типичные магнитные свойства магнитопроводов в защитных контейнерах ГАММАМЕТ.

Тип магнитопровода	B_{800} , Тл	$\mu_{0,08}$	μ_{\max}	$K_{п800}$ (* $K_{п10}$)
ГМ 501	0,43	150000	600000	0,6
ГМ 414	1,17	60000	300000	0,6
ГМ 503 А	0,58	5000	1500000	0,92*
ГМ 412 А	1,17	10000	600000	0,9*
ГМ 440 А	1,50	1000	200000	0,9
ГМ 515 А	0,95	150	250000	0,94
ГМ 503 В	0,58	40000	50000	0,03
ГМ 412 В	1,17	30000	45000	0,07
ГМ 440 В	1,50	8000	20000	0,06
ГМ 515 В	0,95	1500	1550	<0,01

Примечание. B_{800} – магнитная индукция при напряженности магнитного поля 800 А/м;
 $\mu_{0,08}$ – относительная магнитная проницаемость при напряженности магнитного поля 0,08 А/м; μ_{\max} – относительная максимальная магнитная проницаемость ;
 $K_{п800}$ ($K_{п10}$) – коэффициент прямоугольности петли магнитного гистерезиса при напряженности магнитного поля 800 (10) А/м.

Типичные магнитные свойства магнитопроводов в защитных контейнерах ГАММАМЕТ.

Тип магнитопровода	H_C , А/м	$P_{0,2/20}$, Вт/кг	T_C , °С	Плотность, кг/м ³
ГМ 501	0,15	3,6	150	7700
ГМ 414	0,8	4,5	600	7400
ГМ 503 А	0,2	8,5	260	7700
ГМ 412 А	1,2	10	610	7400
ГМ 440 А	4,0	30	420	7300
ГМ 515 А	1,5	60	500	7900
ГМ 503 В	0,25	2,6	260	7700
ГМ 412 В	1,2	3	610	7400
ГМ 440 В	4,0	8	420	7300
ГМ 515 В	1,5	12	500	7900

Примечание. H_C – коэрцитивная сила; $P_{0,2/20}$ – удельные магнитные потери при максимальной индукции 0,2 Тл и частоте 20 кГц; T_C – температура Кюри.

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП) «ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Магнитопроводы с высокой начальной магнитной проницаемостью.



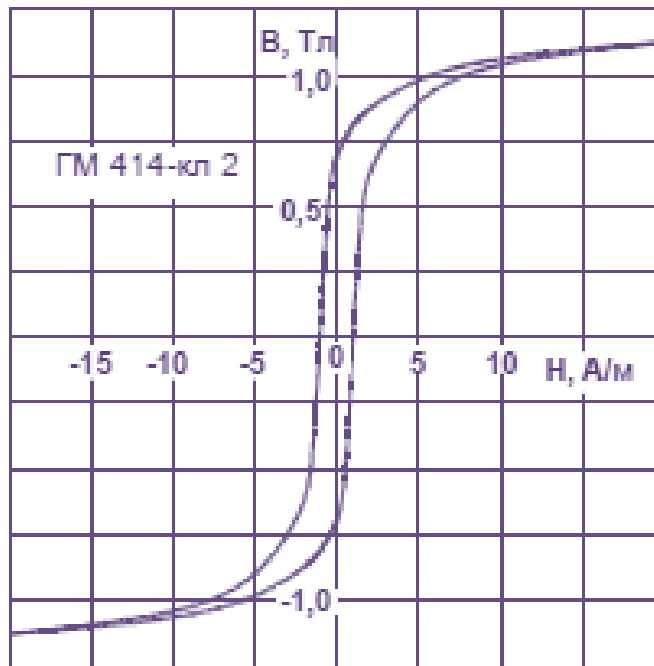
Магнитопроводы с высокой начальной магнитной проницаемостью изготавливаются из аморфной ленты толщиной 25 мкм.

Высокую начальную магнитную проницаемость имеют магнитопроводы из аморфного сплава на основе кобальта ГМ 501 и магнитопроводы из нанокристаллического сплава на основе железа ГМ 414. Магнитопроводы используются в измерительных трансформаторах тока и напряжения, в дифференциальных трансформаторах, согласующих трансформаторах, устройствах защитного отключения и высокочувствительных датчиках при частоте до 200 кГц.

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП) «ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Магнитопроводы с высокой начальной магнитной проницаемостью.

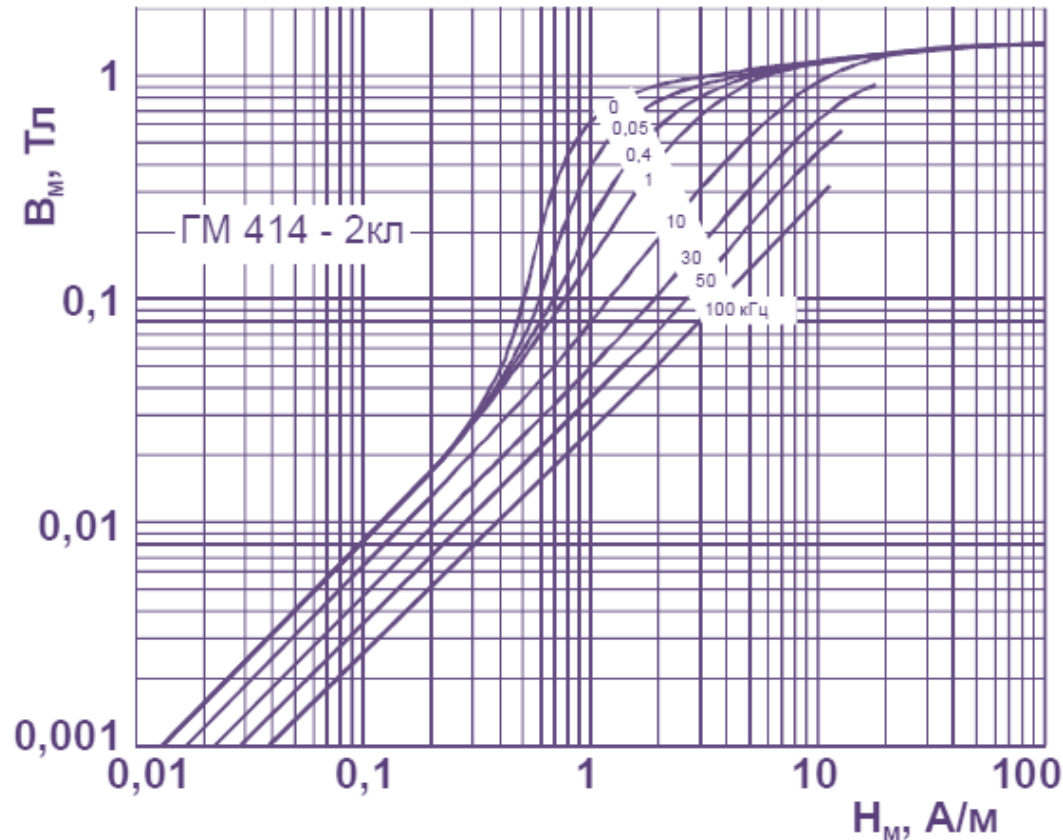
Магнитопроводы ГМ 414 . Типичные физические свойства.	
Магнитная индукция B_{800} , Тл	1,15
Коэффициент прямоугольности B_r / B_{800}	0,6
Магнитострикция насыщения	$1,5 \times 10^{-6}$
Температура Кюри, °С.	600
Плотность, кг/м ³	7400
Удельное сопротивление, ом·м	$1,25 \times 10^{-6}$
Удельные магнитные потери, P (Вт/кг) (для частоты 3 – 200 кГц)	$P = 7,5 \times 10^{-6} \times f^{1,7} \times B_m^2$ (1 класс)
	$P = 5,5 \times 10^{-6} \times f^{1,7} \times B_m^2$ (1 класс)
	$P = 4,3 \times 10^{-6} \times f^{1,7} \times B_m^2$ (1 класс)
	Примечание. Магнитная индукция B_m в теслах (Тл), частота f в герцах (Гц).

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП) «ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Магнитопроводы с высокой начальной магнитной проницаемостью.



Статическая петля магнитного гистерезиса магнитопровода
GM 414 - 2 класс.

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП) «ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Магнитопроводы с высокой начальной магнитной проницаемостью.

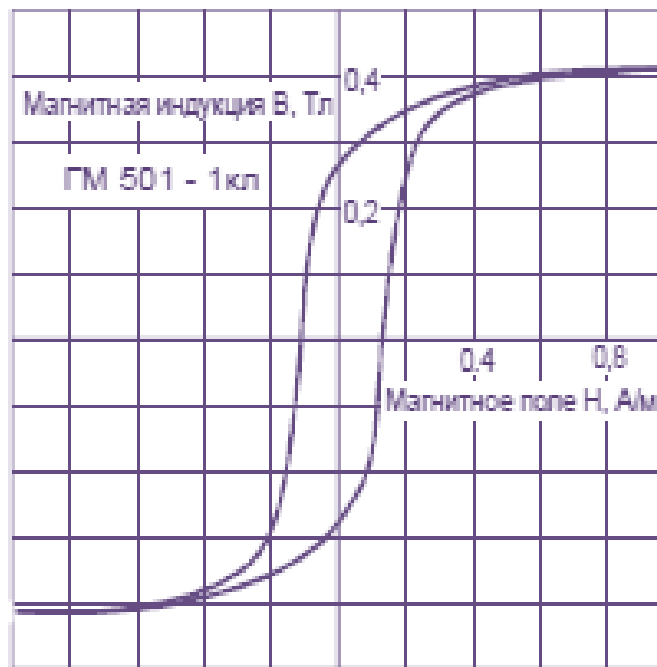


Динамические кривые намагничивания магнитопровода ГМ 414 - 2 класс.

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП) «ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Магнитопроводы с высокой начальной магнитной проницаемостью.

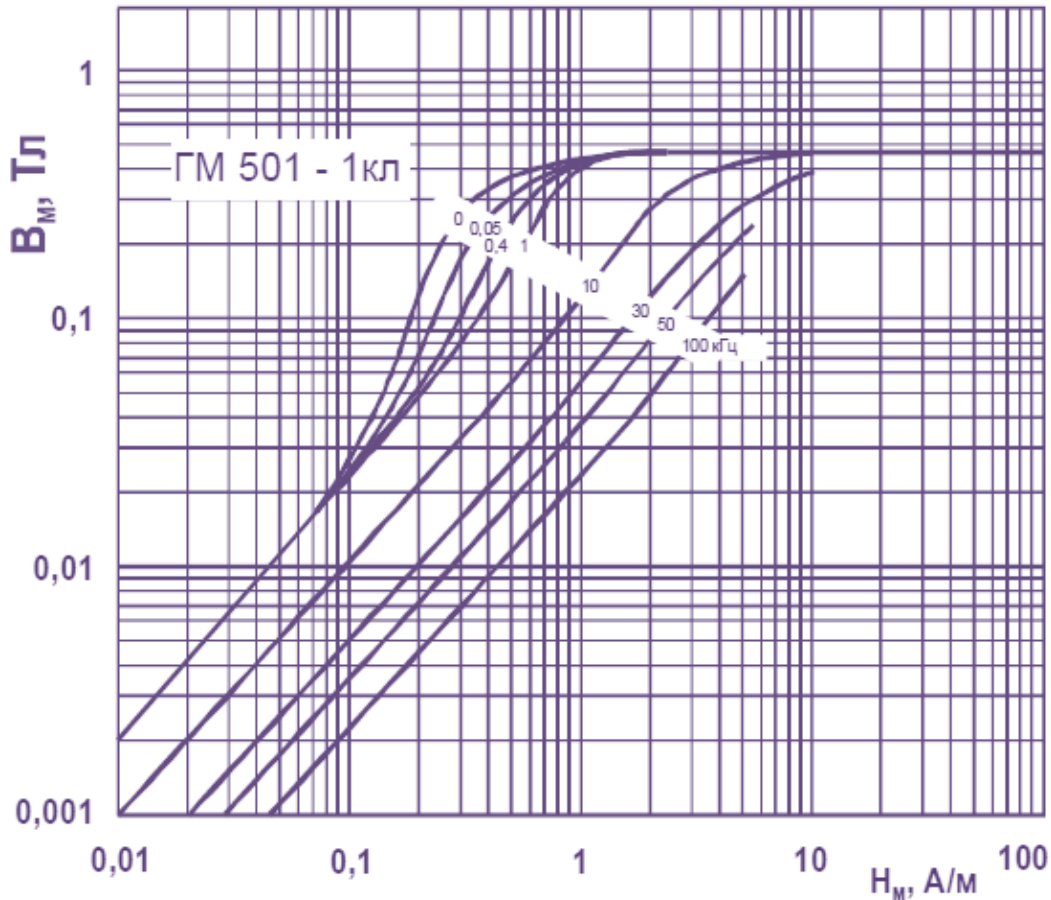
Магнитопроводы ГМ 501 . Типичные физические свойства.	
Магнитная индукция B_{800} , Тл	0,43
Коэффициент прямоугольности B_r / B_{800}	0,6
Магнитострикция насыщения	$< 0,2 \times 10^{-6}$
Температура Кюри, °С.	150
Плотность, кг/м ³	7700
Удельное сопротивление, ом·м	$1,4 \times 10^{-6}$
Удельные магнитные потери, Р (Вт/кг) (для частоты 10 – 200 кГц)	$P = 4,4 \times 10^{-6} \times f^{1,7} \times B_m^2$ (1 класс)
	Примечание. Магнитная индукция B_m в теслах (Тл), частота f в герцах (Гц).

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП) «ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Магнитопроводы с высокой начальной магнитной проницаемостью.



Статическая петля магнитного гистерезиса магнитопровода
GM 501 - 1 класс.

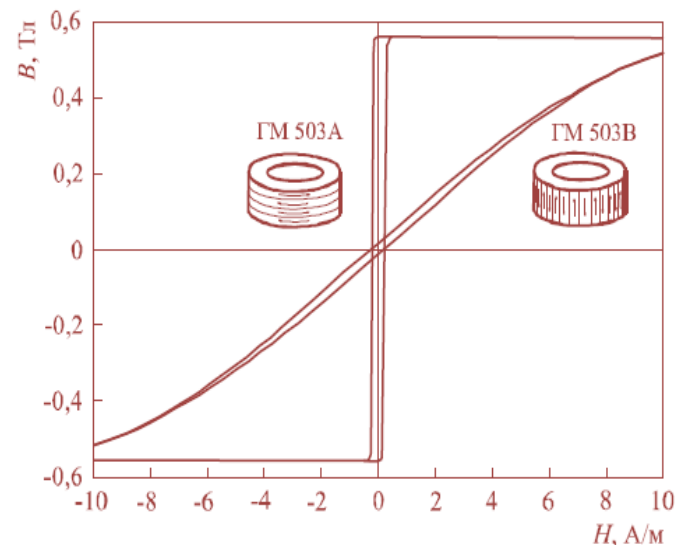
Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП) «ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Магнитопроводы с высокой начальной магнитной проницаемостью.



Динамические кривые намагничивания магнитопровода ГМ 501 - 1 класс.

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
«ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Магнитопроводы с прямоугольной петлей
магнитного гистерезиса.

Магнитопроводы изготавливаются из аморфной ленты толщиной 25 мкм. Прямоугольную петлю магнитного гистерезиса магнитопроводы получают после термической обработки в продольном магнитном поле. После термической обработки магнитопровод ГМ 412А имеет нанокристаллическую структуру, а магнитопроводы ГМ 503А, ГМ 515А и ГМ 440А остаются в аморфном состоянии. Магнитопроводы используются в импульсных трансформаторах, насыщающихся реакторах и магнитных усилителях.



Петли магнитного гистерезиса аморфного сплава на основе кобальта после термической обработки в **продольном** магнитном поле (ГМ 503А) и в **поперечном** магнитном поле (ГМ 503В).

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
 «ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Магнитопроводы ГМ 503А с
 прямоугольной петлей магнитного гистерезиса.

Магнитопроводы ГМ 503А. Типичные физические свойства.	
Магнитная индукция B_{800} , Тл	0,58
Коэффициент прямоугольности B_r / B_{800}	0,92
Коэрцитивная сила H_C , А/м	0,2
Магнитострикция насыщения	$< 0,2 \times 10^{-6}$
Температура Кюри, °С.	260
Плотность, кг/м ³	7700
Удельное сопротивление, ом·м	$1,2 \times 10^{-6}$
Удельные магнитные потери, Р (Вт/кг) (для частоты 3 – 200 кГц)	$P = 9 \times 10^{-5} \times f^{1,4} \times B_m^{1,5}$
	Примечание. Магнитная индукция B_m в теслах (Тл), частота f в герцах (Гц).

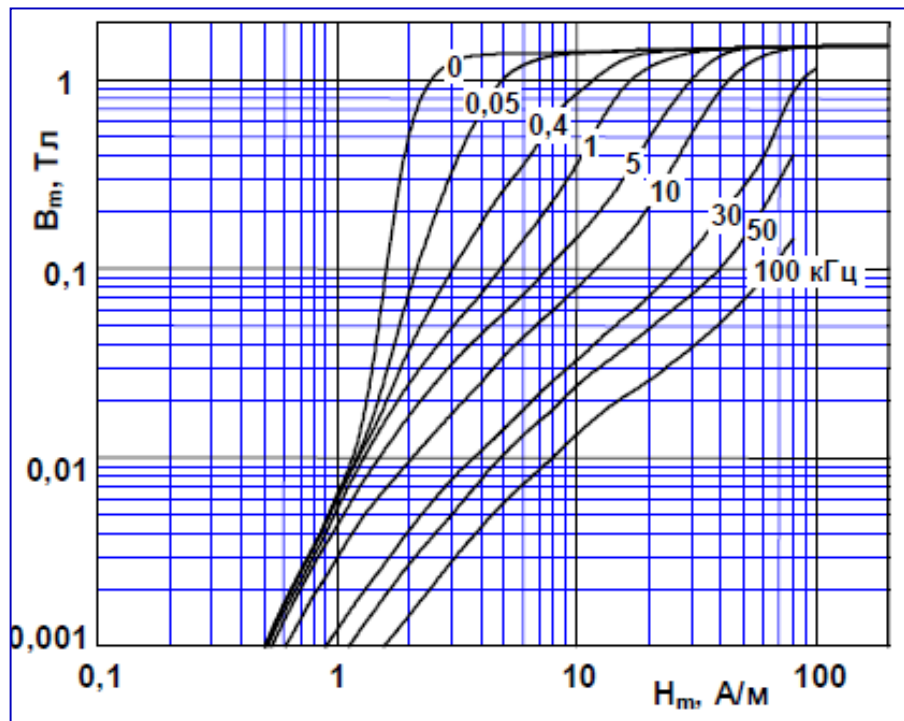
Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
 «ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Магнитопроводы ГМ 412А с
 прямоугольной петлей магнитного гистерезиса.

Магнитопроводы ГМ 412А. Типичные физические свойства.	
Магнитная индукция B_{800} , Тл	1,17
Коэффициент прямоугольности B_r / B_{800}	0,9
Коэрцитивная сила H_C , А/м	1,2
Магнитострикция насыщения	$1,5 \times 10^{-6}$
Температура Кюри, °С.	610
Плотность, кг/м ³	7400
Удельное сопротивление, ом·м	$1,25 \times 10^{-6}$
Удельные магнитные потери, Р (Вт/кг) (для частоты 3 – 200 кГц)	$P = 5 \times 10^{-5} \times f^{1,5} \times B_m^{1,65}$
	Примечание. Магнитная индукция B_m в теслах (Тл), частота f в герцах (Гц).

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
 «ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Магнитопроводы **ГМ 515А** с
 прямоугольной петлей магнитного гистерезиса.

Магнитопроводы ГМ 515А . Типичные физические свойства.	
Магнитная индукция B_{800} , Тл	0,95
Коэффициент прямоугольности B_r / B_{800}	0,94
Коэрцитивная сила H_C , А/м	1,5
Магнитострикция насыщения	$< 0,2 \times 10^{-6}$
Температура Кюри, °С.	500
Плотность, кг/м ³	7900
Удельное сопротивление, ом·м	$1,3 \times 10^{-6}$
Удельные магнитные потери, Р (Вт/кг) (для частоты 3 – 200 кГц)	$P = 4,6 \times 10^{-4} \times f^{1,4} \times B_m^{1,3}$
	Примечание. Магнитная индукция B_m в теслах (Тл), частота f в герцах (Гц).

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП) «ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Магнитопроводы ГМ 440А с прямоугольной петлей магнитного гистерезиса.



Динамические кривые намагничивания магнитопровода ГМ 440А.

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП) «ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Магнитопроводы с линейной петлей магнитного гистерезиса.

Магнитопроводы изготавливаются из аморфной ленты толщиной 25 мкм. Линейную петлю магнитного гистерезиса магнитопроводы получают после термической обработки в поперечном магнитном поле.

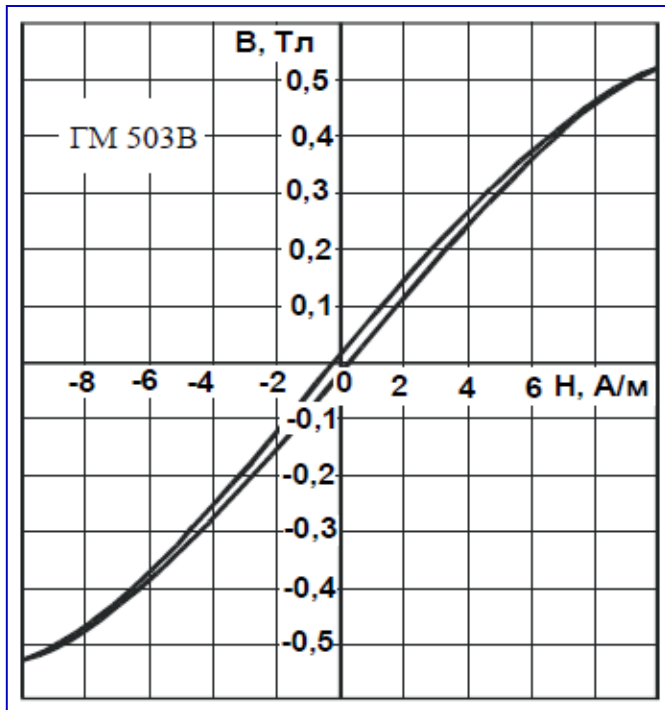
После термической обработки магнитопровод ГМ 412В имеет нанокристаллическую структуру, а магнитопроводы ГМ 503В, ГМ 515В и ГМ 440В остаются в аморфном состоянии.

Магнитопроводы используются в импульсных трансформаторах, согласующих трансформаторах, широкополосных трансформаторах, а также в измерительных трансформаторах тока при наличии постоянной составляющей.

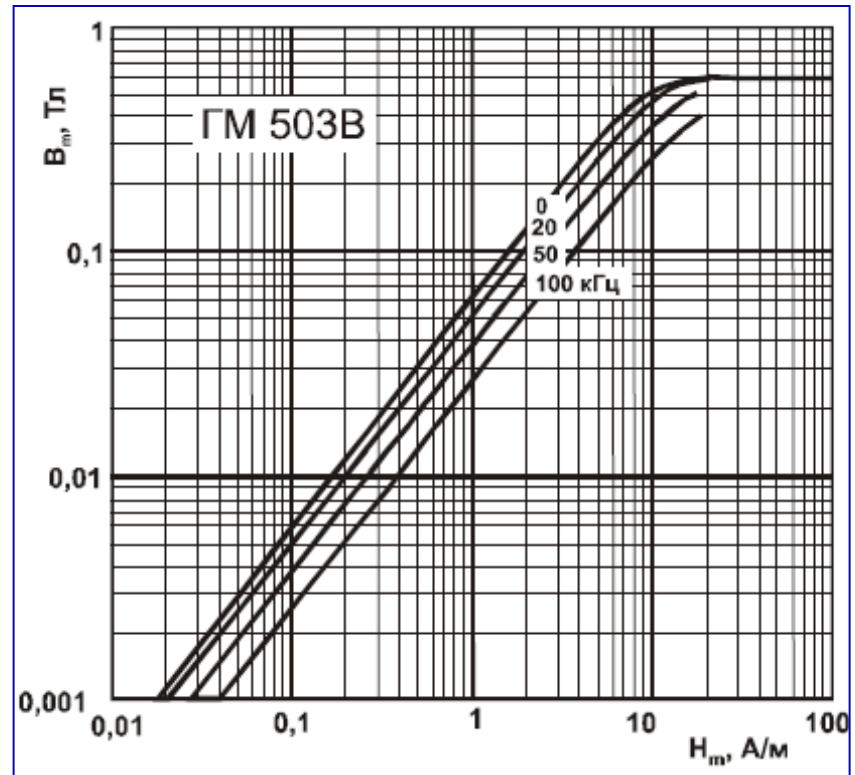
Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
«ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Магнитопроводы **ГМ 503В** с линейной
петлей магнитного гистерезиса.

Магнитопроводы ГМ 503В . Типичные физические свойства.	
Магнитная индукция B_{800} , Тл	0,58
Коэффициент прямоугольности B_r / B_{800}	0,92
Начальная относительная магнитная проницаемость	40000
Максимальная относительная магнитная проницаемость	50000
Коэрцитивная сила H_C , А/м	0,25
Магнитострикция насыщения	$< 0,2 \times 10^{-6}$
Температура Кюри, °С.	260
Плотность, кг/м ³	7700
Удельное сопротивление, ом·м	$1,2 \times 10^{-6}$
Удельные магнитные потери, P (Вт/кг) (для частоты 3 – 200 кГц)	$P = 7,5 \times 10^{-7} \times f^{1,85} \times B_m^{2,03}$
	Примечание. Магнитная индукция B_m в теслах (Тл), частота f в герцах (Гц).

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП) «ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Магнитопроводы **ГМ 503В** с линейной петлей магнитного гистерезиса.

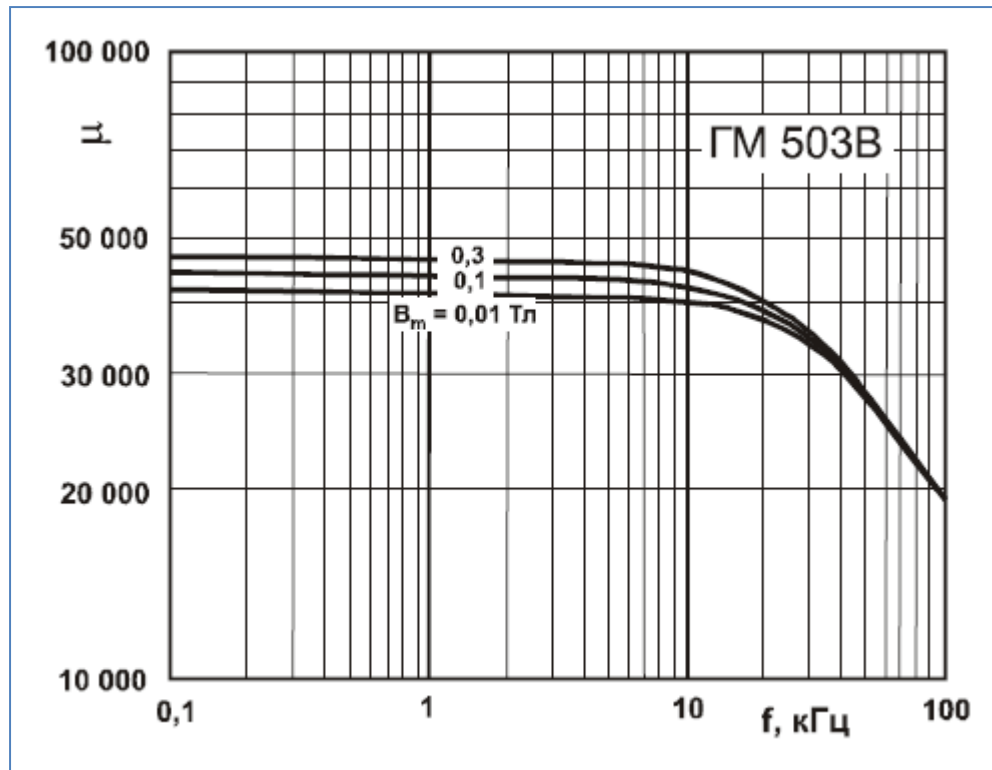


Петля магнитного гистерезиса аморфного сплава на основе кобальта ГМ 503В



Динамические кривые намагничивания магнитопровода ГМ 503В

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП) «ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Магнитопроводы ГМ 503В с линейной петлей магнитного гистерезиса.

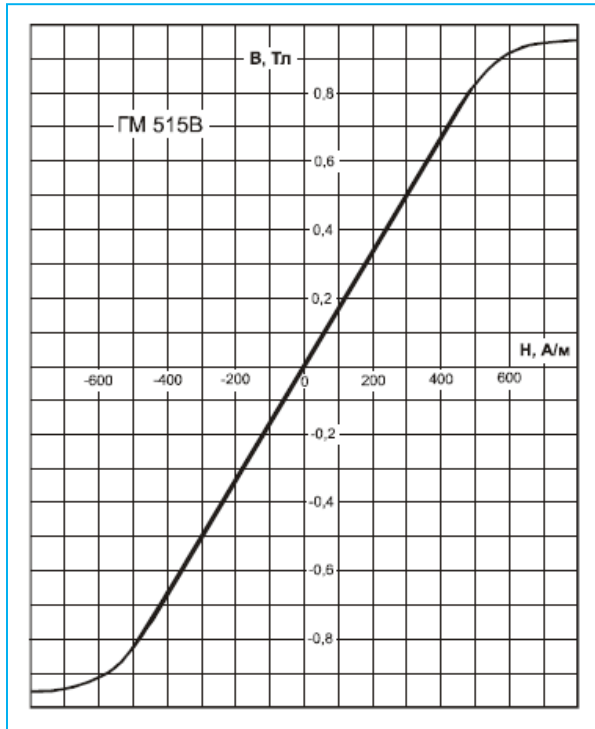


Частотные зависимости относительной магнитной проницаемости магнитопровода ГМ 503В для разной максимальной магнитной индукции

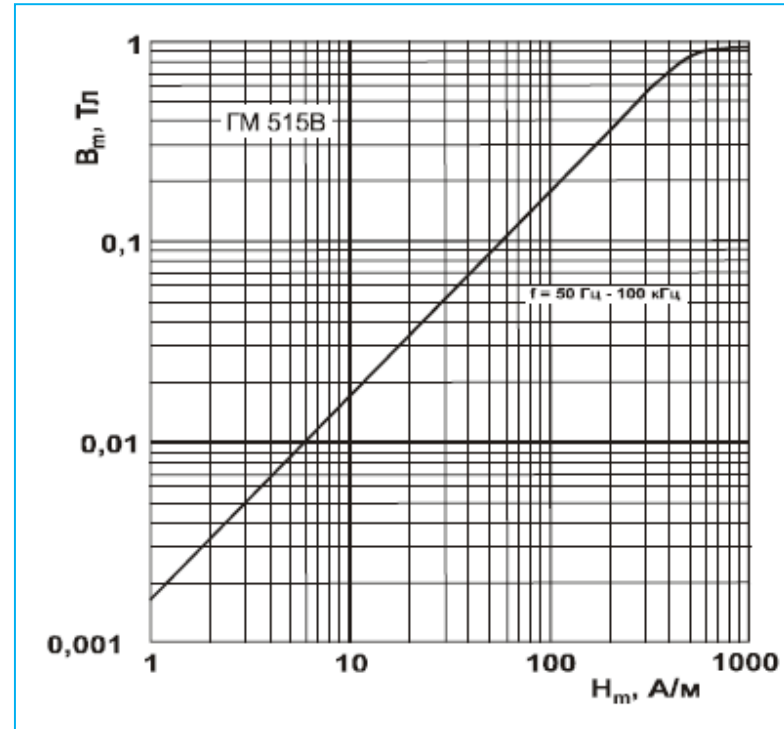
Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
 «ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Магнитопроводы **ГМ 515В** с линейной
 петлей магнитного гистерезиса.

Магнитопроводы ГМ 515В . Типичные физические свойства.	
Магнитная индукция B_{800} , Тл	0,95
Коэффициент прямоугольности B_r / B_{800}	< 0,01
Начальная относительная магнитная проницаемость	1500
Максимальная относительная магнитная проницаемость	1550
Коэрцитивная сила H_C , А/м	1,5
Магнитострикция насыщения	< $0,2 \times 10^{-6}$
Температура Кюри, °С.	500
Плотность, кг/м ³	7900
Удельное сопротивление, ом·м	$1,3 \times 10^{-6}$
Удельные магнитные потери, Р (Вт/кг) (для частоты 3 – 200 кГц)	$P = 5,4 \times 10^{-6} \times f^{1,8} \times B_m^{2,0}$
	Примечание. Магнитная индукция B_m в теслах (Тл), частота f в герцах (Гц).

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП) «ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Магнитопроводы **ГМ 515В** с линейной петлей магнитного гистерезиса.



Петля магнитного гистерезиса аморфного сплава на основе кобальта ГМ 515В

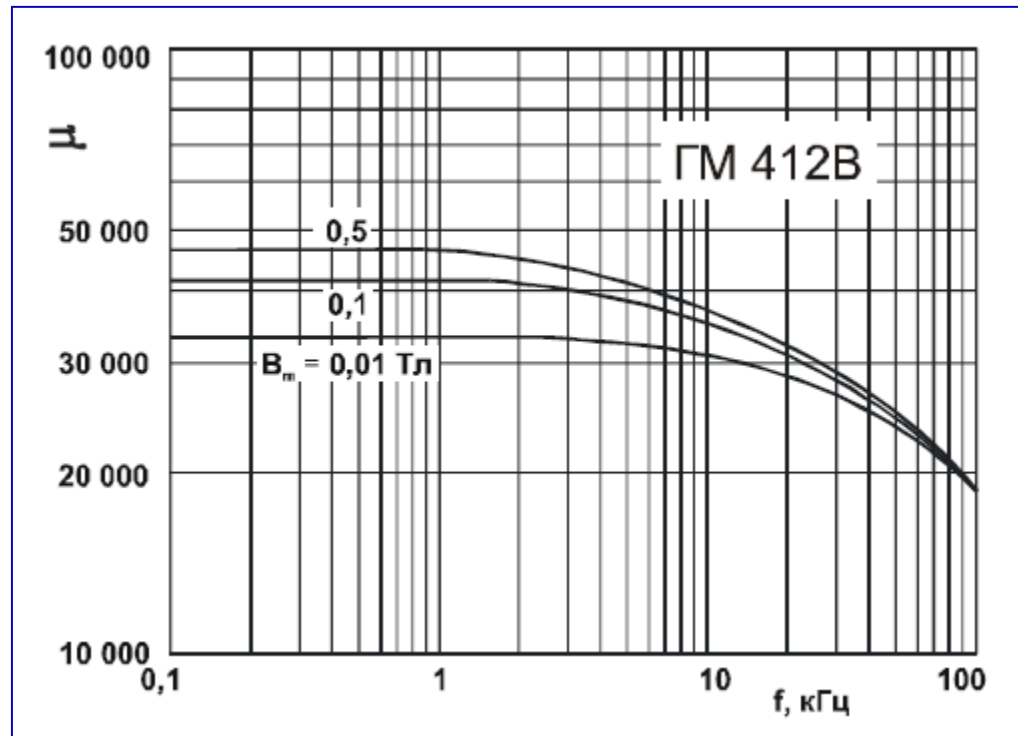


Динамические кривые намагничивания магнитопровода ГМ 515В

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП) «ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Магнитопроводы **ГМ 412В** с линейной петлей магнитного гистерезиса.

Магнитопроводы ГМ 412В . Типичные физические свойства.	
Магнитная индукция B_{800} , Тл	1,17
Коэффициент прямоугольности B_r / B_{800}	0,07
Начальная относительная магнитная проницаемость	30000
Максимальная относительная магнитная проницаемость	45000
Коэрцитивная сила H_C , А/м	1,2
Магнитострикция насыщения	$1,5 \times 10^{-6}$
Температура Кюри, °С.	610
Плотность, кг/м ³	7400
Удельное сопротивление, ом·м	$1,25 \times 10^{-6}$
Удельные магнитные потери, P (Вт/кг) (для частоты 3 – 200 кГц)	$P = 3,3 \times 10^{-6} \times f^{1,7} \times B_m^{2,05}$
	Примечание. Магнитная индукция B_m в теслах (Тл), частота f в герцах (Гц).

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП) «ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Магнитопроводы ГМ 412В с линейной петлей магнитного гистерезиса.

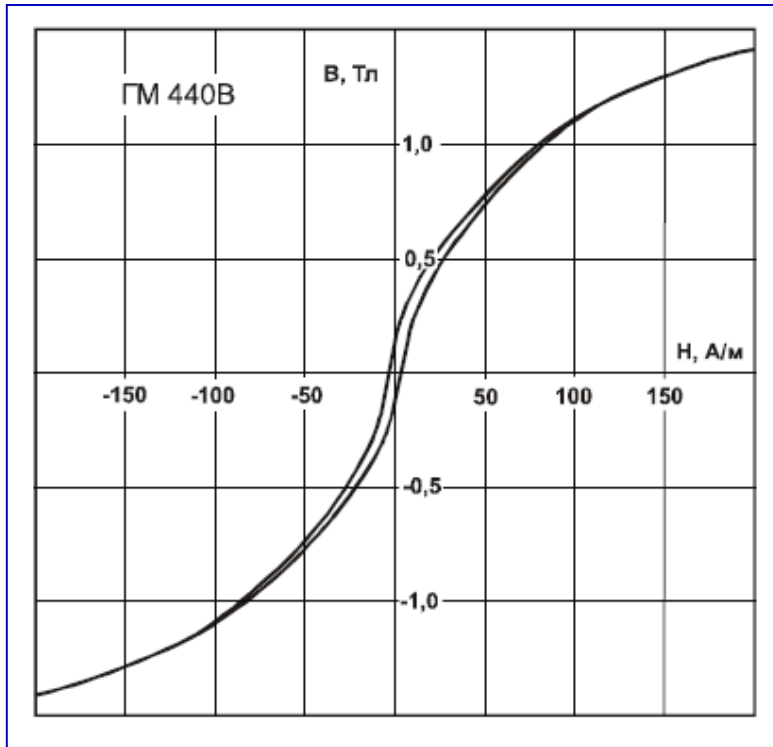


Частотные зависимости относительной магнитной проницаемости магнитопровода ГМ 412В для разной максимальной магнитной индукции

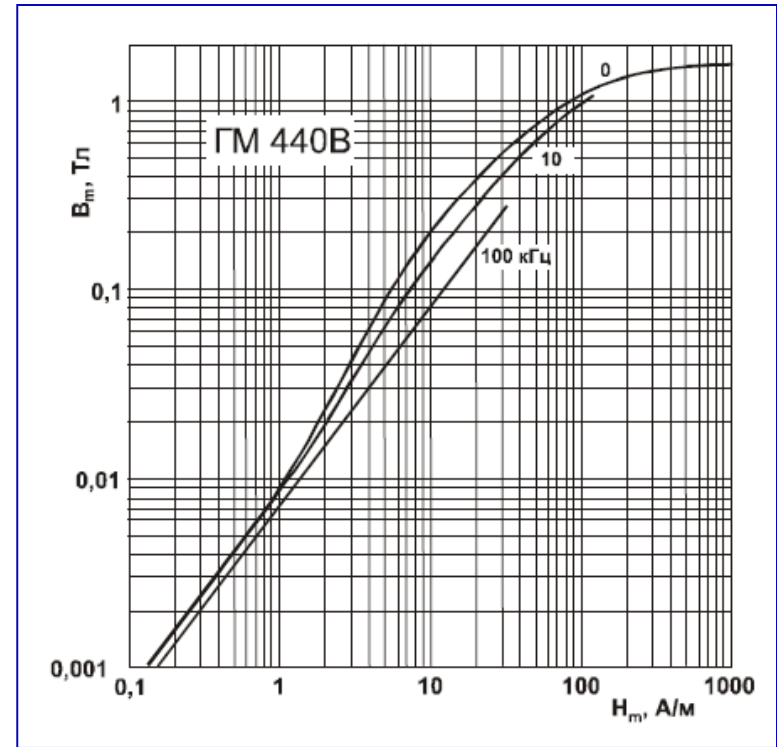
Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
 «ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Магнитопроводы **ГМ 440В** с линейной
 петлей магнитного гистерезиса.

Магнитопроводы ГМ 440В . Типичные физические свойства.	
Магнитная индукция B_{800} , Тл	1,5
Коэффициент прямоугольности B_r / B_{800}	0,06
Начальная относительная магнитная проницаемость	8000
Максимальная относительная магнитная проницаемость	20000
Коэрцитивная сила H_C , А/м	4,0
Магнитострикция насыщения	25×10^{-6}
Температура Кюри, °С.	420
Плотность, кг/м ³	7300
Удельное сопротивление, ом·м	$1,3 \times 10^{-6}$
Удельные магнитные потери, P (Вт/кг) (для частоты 3 – 200 кГц)	$P = 3,0 \times 10^{-5} \times f^{1,6} \times B_m^{2,1}$
	Примечание. Магнитная индукция B_m в теслах (Тл), частота f в герцах (Гц).

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП) «ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Магнитопроводы **ГМ 440В** с линейной петлей магнитного гистерезиса.

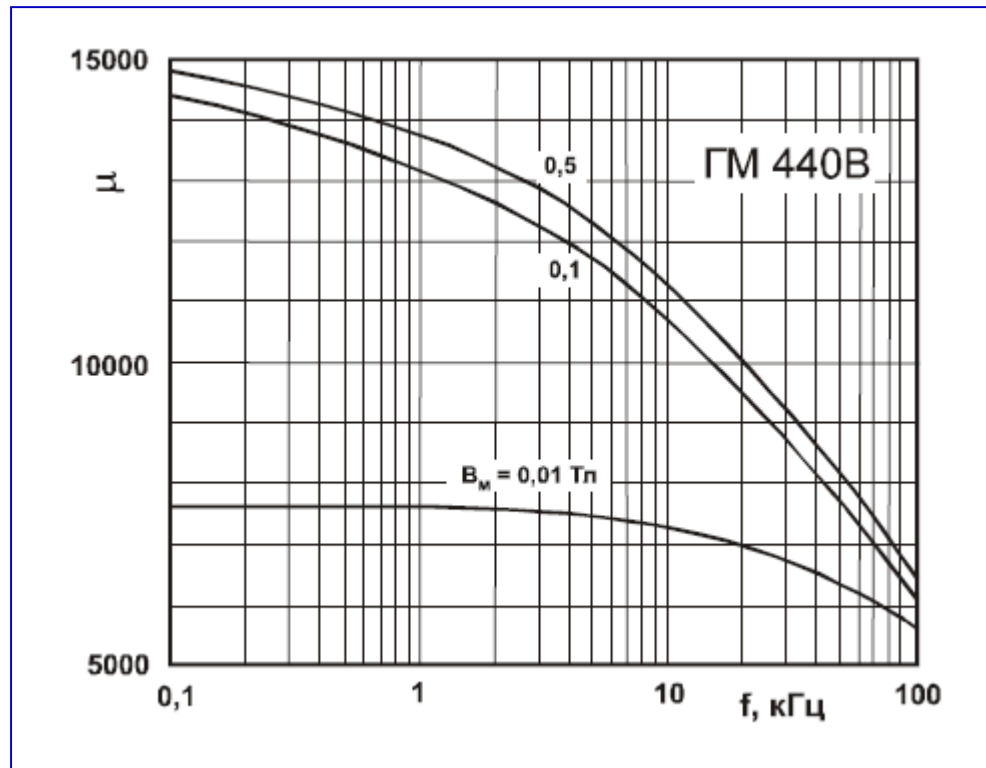


Петля магнитного гистерезиса аморфного сплава на основе кобальта ГМ 440В



Динамические кривые намагничивания магнитопровода ГМ 440В

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП) «ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Магнитопроводы **ГМ 440В** с линейной петлей магнитного гистерезиса.



Частотные зависимости относительной магнитной проницаемости магнитопровода ГМ 440В для разной максимальной магнитной индукции

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП) «ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Композиционные магнитопроводы.

В соответствии с ТУ 1261-031-12287107-2008 композиционные магнитопроводы изготавливаются из ленты магнитомягких аморфных или нанокристаллических сплавов с номинальной толщиной 25 мкм. Магнитопроводы поставляются после термической обработки, а поверх магнитопроводов наносится покрытие. Магнитные свойства композиционных магнитопроводов соответствуют усредненным данным на единицу номинального геометрического сечения магнитопровода или на единицу номинального объема магнитопровода. При этом как бы принимается, что эффективное действие оказывает некоторый композиционный материал, находящийся в данном геометрическом объеме магнитопровода. В связи с этим в расчетах магнитных элементов необходимо принимать коэффициент заполнения магнитопровода магнитным материалом, равным единице.

Магнитопроводы могут применяться **взамен ферритов, прецизионных сплавов и электротехнической стали.**

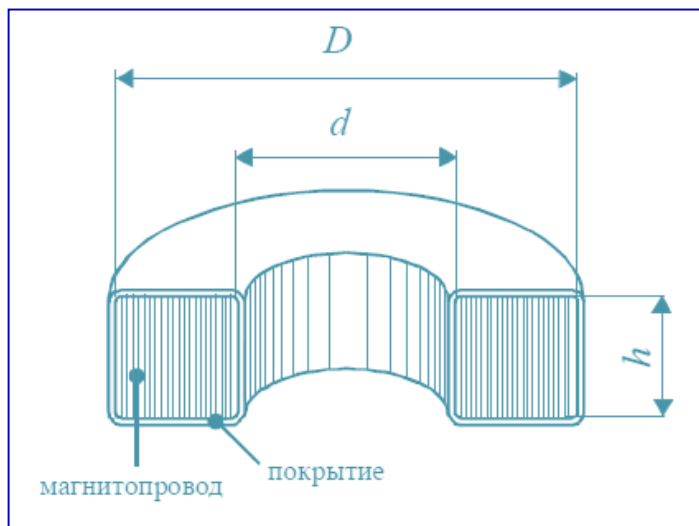
Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП) «ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Композиционные магнитопроводы.

При эксплуатации композиционных магнитопроводов **следует соблюдать следующие рекомендации**. При нанесении обмотки на магнитопровод натяжение провода регулируется так, чтобы не допустить ухудшение магнитных свойств за пределы требований настоящих технических условий. Температурный режим сушки трансформаторов должен соответствовать заданному классу нагревостойкости магнитопроводов.

В документации условное обозначение композиционного магнитопровода должно содержать обозначение типа, типоразмера и настоящих технических условий. Например, магнитопровод кольцевой ГАММАМЕТ 14ДС, 1 класс по магнитным свойствам, класс нагревостойкости А (105°С) в части применения электроизоляционных материалов, имеющий внутренний диаметр 20 мм, наружный диаметр 32 мм, высоту 10 мм по ТУ 1261-031-12287107- 2008 имеет условное обозначение « **Магнитопровод ГМ 14ДС – 1кл К32х20х10 ТУ 1261-031-12287107-2008**».

Этот же магнитопровод класса нагревостойкости F (155°С) имеет условное обозначение «**Магнитопровод ГМ 14ДС – 1кл (F) К32х20х10 ТУ 1261-031-12287107-2008**».

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
«ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Композиционные магнитопроводы.



Поперечный разрез
композиционного
магнитопровода.

К 32 × 20 × 10

h – высота
магнитопровода, мм

d – внутренний диаметр
магнитопровода, мм

D – наружный диаметр
магнитопровода, мм

Конфигурация
магнитопровода
(кольцевой)

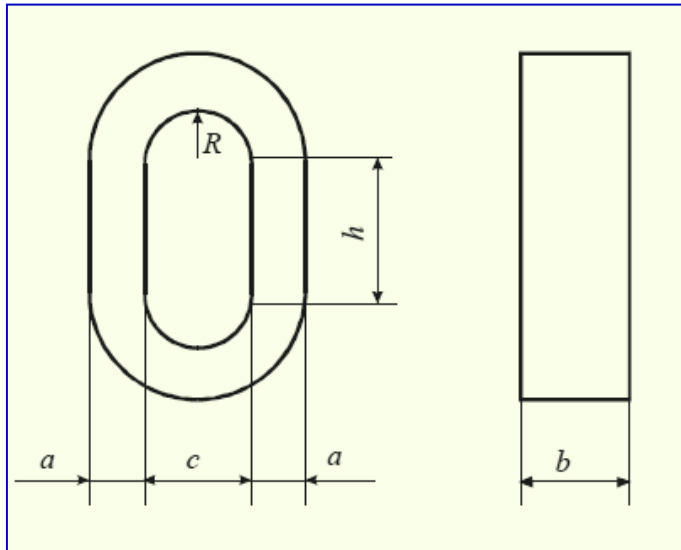
Структура условного обозначения
типоразмера
композиционного магнитопровода.

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
«ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Композиционные магнитопроводы.

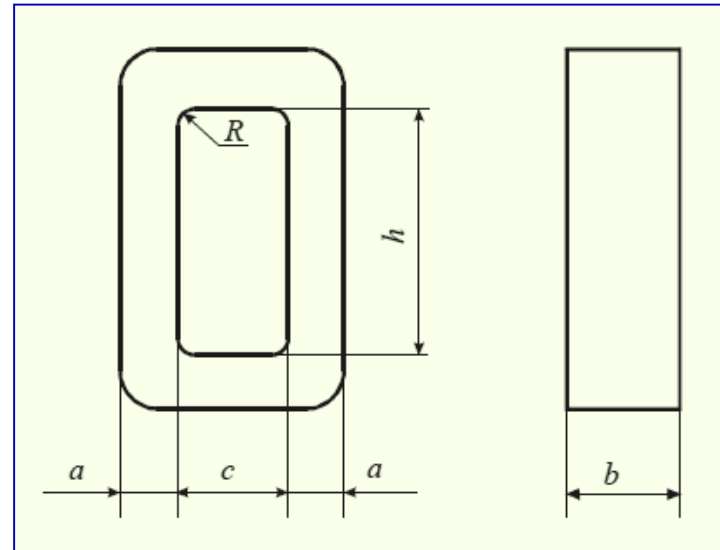


Структура условного обозначения **типа** композиционного магнитопровода.

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
«ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Композиционные магнитопроводы.



Размеры овального ленточного
композиционного магнитопровода
ОВЛ ($c=2R$)



Размеры округлого ленточного
композиционного магнитопровода
ОКЛ

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
«ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Композиционные магнитопроводы.

ОКЛ	20	×	40	×	50	(30)
ОВЛ	20	×	40	×	50	(30)

с – ширина окна, мм

h – высота окна, мм

b – высота магнитопровода, мм

a – толщина намотки, мм

ОКЛ – округлый ленточный

ОВЛ – овальный ленточный

Структура условного обозначения типоразмера композиционных магнитпроводов
ОКЛ и ОВЛ

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
«ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Композиционные магнитопроводы.

Магнитные свойства композиционных магнитопроводов						
Тип магнитопровода	Класс по магнитным свойствам	$\mu_{0,08}$ не менее	H_C , А/м не более	B_{800} , Тл не менее	$K_{п800}$	$K_{п10}$
ГМ 11ДС	1	30000	0,8	0,28	-	-
	2	50000	0,7			
	3	70000	0,6			
ГМ 14 ДС	1	10000	4,0	0,75	-	-
	2	20000	3,5			
	3	30000	3,0			
ГМ 14С		5000	8,0	0,75	-	-
ГМ 40 ДС		1500	20,0	1,0	-	-
ГМ 43ДС	1	10000	1,2	0,38	0,1	-
	2	20000	0,8	0,38	(не более)	-
<p>Примечание¹. В таблице приведены магнитные свойства композиционного материала, отнесенные к единице номинального геометрического сечения или единице номинального объема магнитопровода.</p> <p>Примечание². В расчетах магнитных элементов коэффициент заполнения магнитопровода принимается равным 1.</p>						

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
«ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Композиционные магнитопроводы.

Магнитные свойства композиционных магнитопроводов						
Тип магнитопровода	Класс по магнитным свойствам	$\mu_{0,08}$ не менее	H_C , А/м не более	B_{800} , Тл не менее	$K_{п800}$	$K_{п10}$
ГМ 42ДС	1	7000	5,0	0,75	0,2	-
	2	10000	4,0	0,75	(не более)	-
ГМ 40ВДС	-	2000	15,0	1,0	0,2 (не более)	-
ГМ 45 ДС	-	-	4,0	0,60	0,05 (не более)	-
ГМ 33С	-	-	1,0	0,38	-	0,85
ГМ 32 ДС	-	-	4,0	0,75	-	0,80
ГМ 35ДС	-	-	4,0	060	0,85 (не менее)	-

Примечание¹. В таблице приведены магнитные свойства композиционного материала, отнесенные к единице номинального геометрического сечения или единице номинального объема магнитопровода.

Примечание². В расчетах магнитных элементов коэффициент заполнения магнитопровода **принимается равным 1.**

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
«ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Композиционные магнитопроводы.

Типичные магнитные свойства композиционных магнитопроводов								
Тип магнитопровода	B_{800} , Тл	$\mu_{0,08}$	μ_{max}	$K_{п800}$ ($K_{п10}$)	H_C , А/м	$P_{0,2/20}$, МВт/см ³	T_C , °С	Плотность, кг/м ³
ГМ	0,32	50000	150000	0,5	0,4	40	150	5400
11ДС	0,80	20000	50000	0,4	2,5	90	600	5200
ГМ	0,80	10000	25000	0,3	5,0	160	600	5200
14ДС	1,0	2000	9000	0,3	10.0	240	420	5100
ГМ 14С								
ГМ 40								
ДС								
ГМ	0,40	35000	40000	0,05	0,5	75	260	5400
43ДС	0,80	15000	25000	0,1	3,0	110	610	5200
ГМ	1,0	3000	7000	0,15	8,0	200	420	5100
42ДС	0,70	1200	1300	<0,01	2,0	220	500	5500
ГМ								
40ВДС								
ГМ								
45ДС								
ГМ	0,40	3000	600000	(0,9)	0,5	100	260	5400

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
«ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Композиционные разрезные
магнитопроводы.

Композиционные разрезные магнитопроводы изготавливаются в соответствии с ТУ 1261-032-12287107-2008 из ленты магнитомягкого нанокристаллического сплава ГМ 414 с номинальной толщиной 25 мкм. Магнитопроводы имеют по крайней мере один немагнитный зазор, который обеспечивает **линейную кривую намагничивания магнитопроводов.**

Магнитопроводы изготавливаются двух типов:

1. **Кольцевые магнитопроводы** ГМ 54ДС с фиксированным немагнитным зазором.
2. **Магнитопроводы прямоугольной формы** ГМ 24ДС с двумя или большим числом резцов, поставляемых в виде нескольких разборных единиц.

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
«ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Композиционные разрезные
магнитопроводы с высокой запасенной магнитной энергией ГМ 54ДС.

Магнитопроводы ГМ 54ДС способны запасать значительную магнитную энергию. Магнитопроводы ГМ 54ДС используются для изготовления реакторов различного назначения и трансформаторов в схемах импульсных источников вторичного питания.

Магнитопроводы ГМ 54ДС изготавливаются из нанокристаллического сплава ГМ 414 на основе железа и имеют линейную кривую намагничивания за счет немагнитного зазора. После разреза магнитопровода немагнитный зазор фиксируется, так чтобы получить в магнитопроводе заданную величину магнитной проницаемости.

Магнитопроводы ГМ 54ДС подразделяются на классы по относительной магнитной проницаемости (таблица «Магнитные свойства магнитопроводов ГМ 54ДС по классам»).

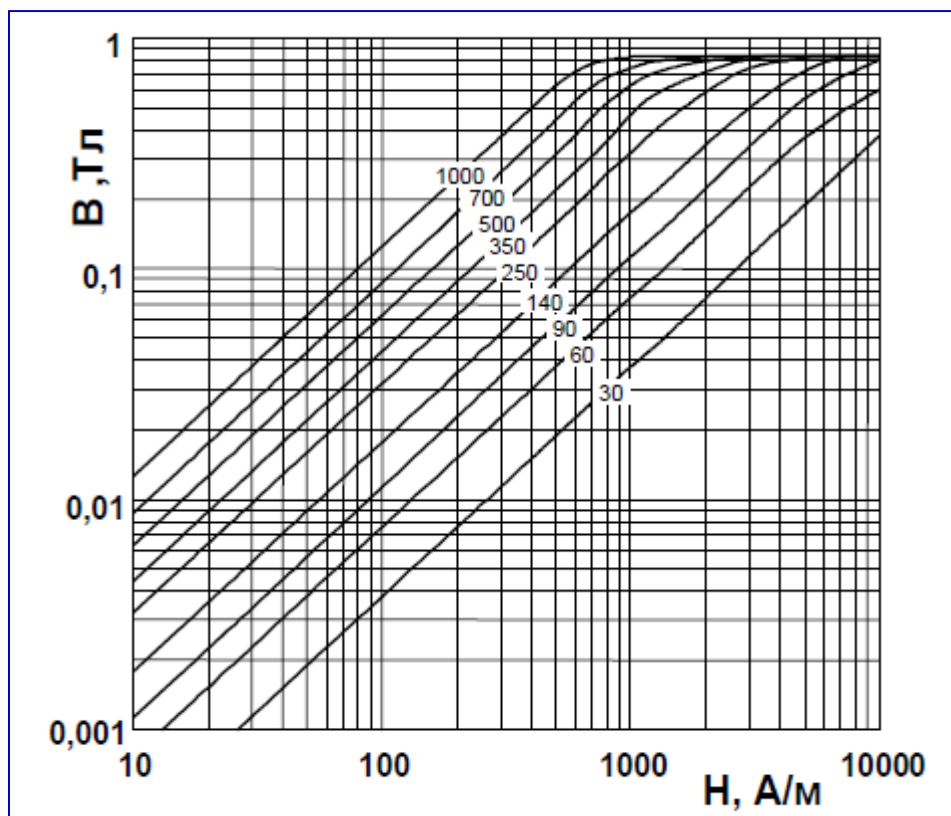
Предпочтительные размеры композиционных разрезных магнитопроводов: внутренний диаметр не менее 8 мм, наружный диаметр не более 1000 мм, высота – кратная 5 мм.

Покрытие на композиционных магнитопроводах может быть из полипропилена или из стеклоленты с покраской эпоксидной эмалью.

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
«ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Композиционные разрезные
магнитопроводы с высокой запасенной магнитной энергией ГМ 54ДС.

Магнитные свойства магнитопроводов ГМ 54ДС по классам		
Класс магнитопровода	Начальная относительная магнитная проницаемость	
	Номинальная	Предельные отклонения
30	30	25 – 30
40	40	35 – 50
60	60	50 – 75
90	90	75 – 110
140	140	110 – 170
200	200	170 – 220
250	250	220 – 290
350	350	290 - 400
500	500	400 – 600
700	700	600 – 850
1000	1000	850 – 1200

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
«ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Композиционные разрезные
магнитопроводы с высокой запасенной магнитной энергией ГМ 54ДС.



Типичные кривые намагничивания магнитопроводов ГМ 54ДС

**Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
«ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Композиционные разрезные
магнитопроводы с высокой запасенной магнитной энергией ГМ 54ДС.**

Удельные магнитные потери в магнитопроводах ГМ 54ДС

Магнитопровод	Удельные магнитные потери (0,2 Тл/ 20 КГц), мВт/см ³	Удельные магнитные потери (0,05 Тл/ 100 КГц), мВт/см ³	Коэффициенты для расчета удельных магнитных потерь	
			r ₁	r ₂
ГМ 54Д – 1000	100	80	1,5	0,9
ГМ 54ДС – 700	120	90	1,6	1,0
ГМ 54ДС – 500	130	100	1,8	1,15
ГМ 54ДС – 350	150	110	2,1	1,3
ГМ 54ДС – 250	180	130	2,4	1,5
ГМ 54ДС – 200	190	145	2,6	1,65
ГМ 54ДС – 140	210	160	2,9	1,8
ГМ 54ДС – 90	270	200	3,6	2,3
ГМ 54ДС – 60	350	260	4,8	3,0
ГМ 54ДС – 40	450	350	6,2	3,9
ГМ 54ДС – 30	510	390	7,0	4,4

Примечание¹. В таблице численные значения отнесены к единице площади геометрического сечения или к единице объема магнитопровода.

Примечание². Удельные магнитные потери $p(\text{Вт/ м}^3)$ можно оценить, используя формулу

$$P = r_1 \times f^{1,48} \times B_m^{2,05} \text{ для } B_m < 0,1 \text{ Тл или формулу } P = r_2 \times f^{1,48} \times B_m^{1,85} \text{ для } B_m > 0,1 \text{ Тл}$$

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
«ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Композиционные прямоугольные
разрезные магнитопроводы.

Разрезные прямоугольные магнитопроводы ГМ 24ДС изготавливают из нанокристаллического сплава с высокой магнитной проницаемостью ГМ 414.

Буквенное обозначение типоразмера стандартного разрезного П - образного магнитопровода - ПЛ. Размеры магнитопровода ПЛ представлены на рисунке «Размеры разрезного П-образного ленточного магнитопровода ГМ 24ДС (ПЛ)». При этом введены обозначения:

a – толщина магнитопровода, мм;

b – высота магнитопровода, мм;

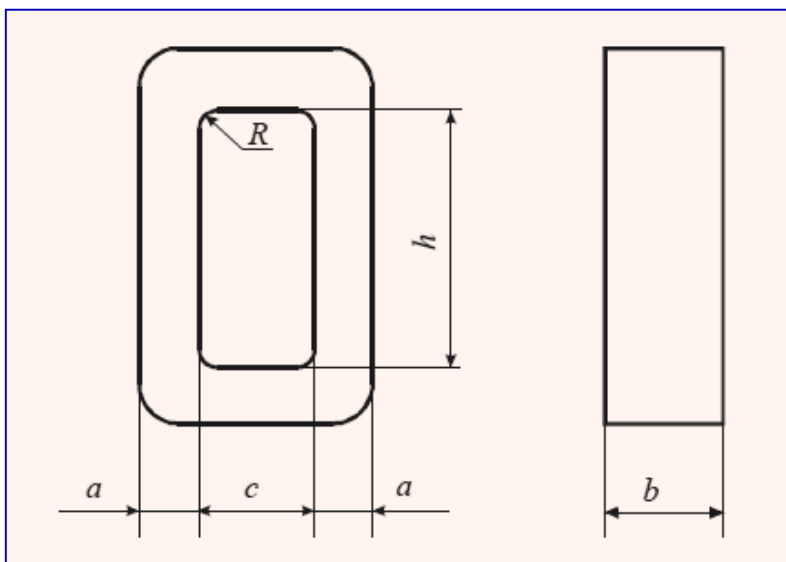
c – ширина окна магнитопровода, мм;

h – высота окна магнитопровода, мм;

R – внутренний радиус магнитопровода, мм, который согласуется при заказе.

Место реза указывается на чертеже при заказе.

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
«ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Композиционные прямоугольные
разрезные магнитопроводы.

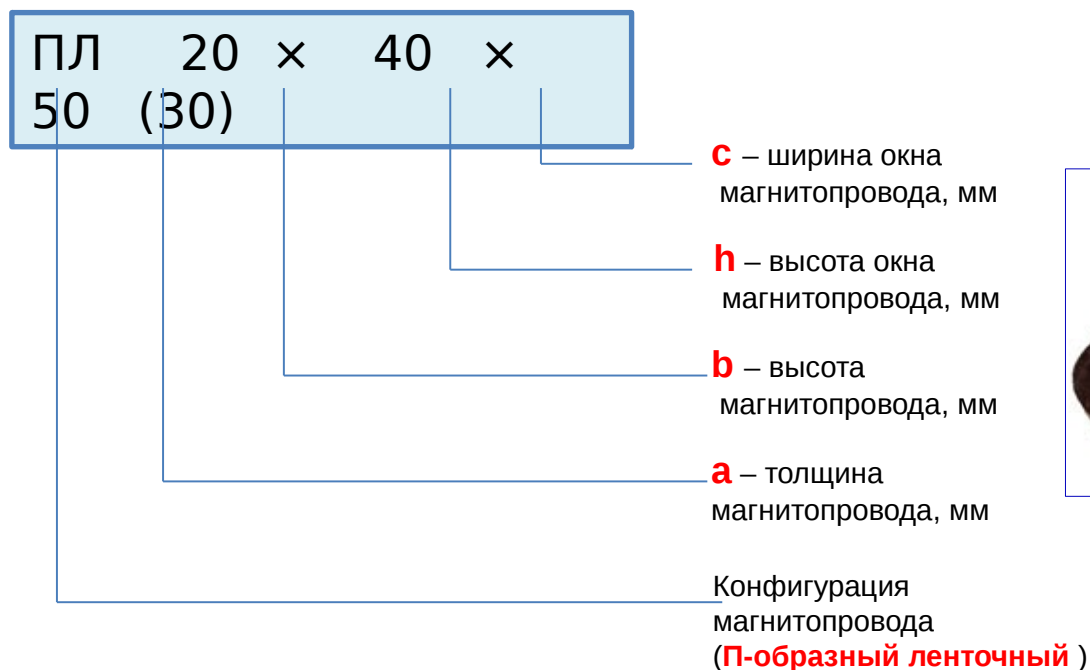


Размеры разрезного П-образного ленточного магнитопровода
ГМ 24ДС (ПЛ)

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
«ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Композиционные прямоугольные
разрезные магнитопроводы.

Условное обозначение разрезного прямоугольного магнитопровода ПЛ вводится по аналогии с ГОСТ 22050 – 76. «Магнитопроводы ленточные. Типы и основные размеры». При этом дополнительно в круглых скобках вводится ширина окна магнитопровода **c**. Условное обозначение разрезного П – образного магнитопровода ПЛ представлено на рисунке «Условное обозначение разрезного композиционного магнитопровода ПЛ». Условное обозначение разрезного прямоугольного магнитопровода ПЛ можно записать в виде формулы **ПЛ a x b x h(c)**.

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
«ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Композиционные прямоугольные
разрезные магнитопроводы.



Условное обозначение разрезного композиционного магнитопровода Пл

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
«ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Композиционные прямоугольные
разрезные магнитопроводы.

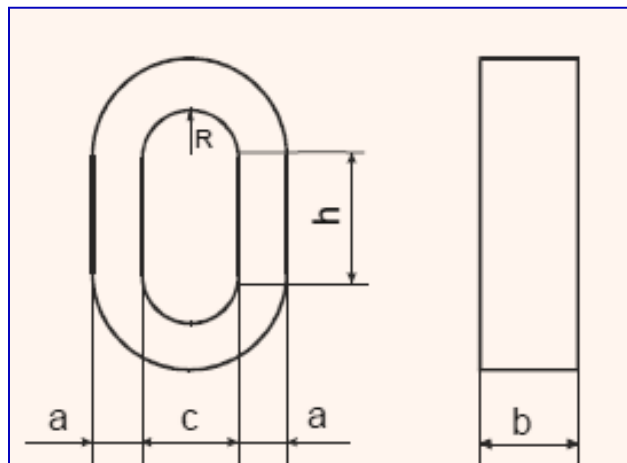
На рисунке «Размеры разрезного П-образного овального ленточного магнитопровода ГМ 24ДС (ПОЛ, $2R=c$)» представлены размеры нестандартного П - образного овального разрезного магнитопровода – **ПОЛ**, у которого внутренний радиус магнитопровода связан с шириной окна соотношением **$2R = c$** . Структура условного обозначения магнитопровода ПОЛ такая же как и у магнитопровода ПЛ, только дополнительно вводится буква О – овальный. В магнитопроводах ПОЛ величина **h** определяет длину прямолинейной части окна магнитопровода.

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
«ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Композиционные прямоугольные
разрезные магнитопроводы.

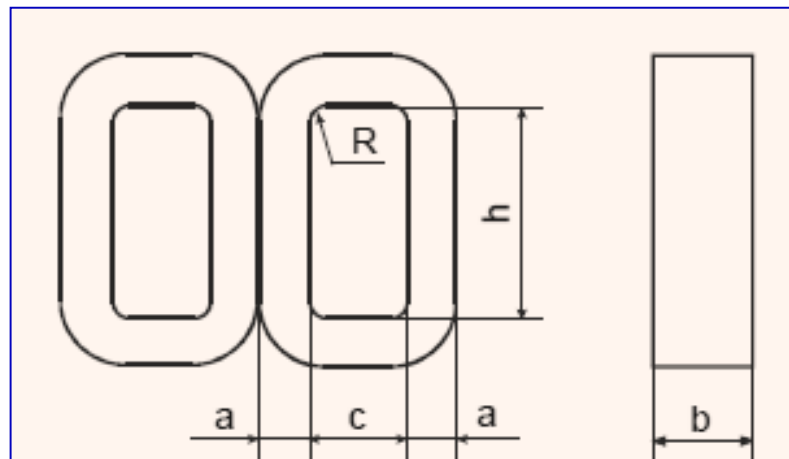
Магнитопроводы броневого конструкции, изготовленные из двух
прямоугольных разрезных магнитопроводов, имеют вид, представленный на
рисунке «Размеры разрезного Ш-образного ленточного магнитопровода ГМ
24ДС (ШЛ)», а условное обозначение – на рисунке «Условное обозначение
разрезного композиционного магнитопровода ШЛ».

Условное обозначение разрезного прямоугольного магнитопровода ШЛ
вводится по аналогии с ГОСТ 22050 – 76. «Магнитопроводы ленточные. Типы
и основные размеры». При этом дополнительно в круглых скобках вводится
высота h и **ширина c** окна магнитопровода. Условное обозначение
магнитопровода броневого конструкции ШЛ можно представить в виде
формулы **ШЛ 2a x b (hxc).**

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
«ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Композиционные разрезные
магнитопроводы.

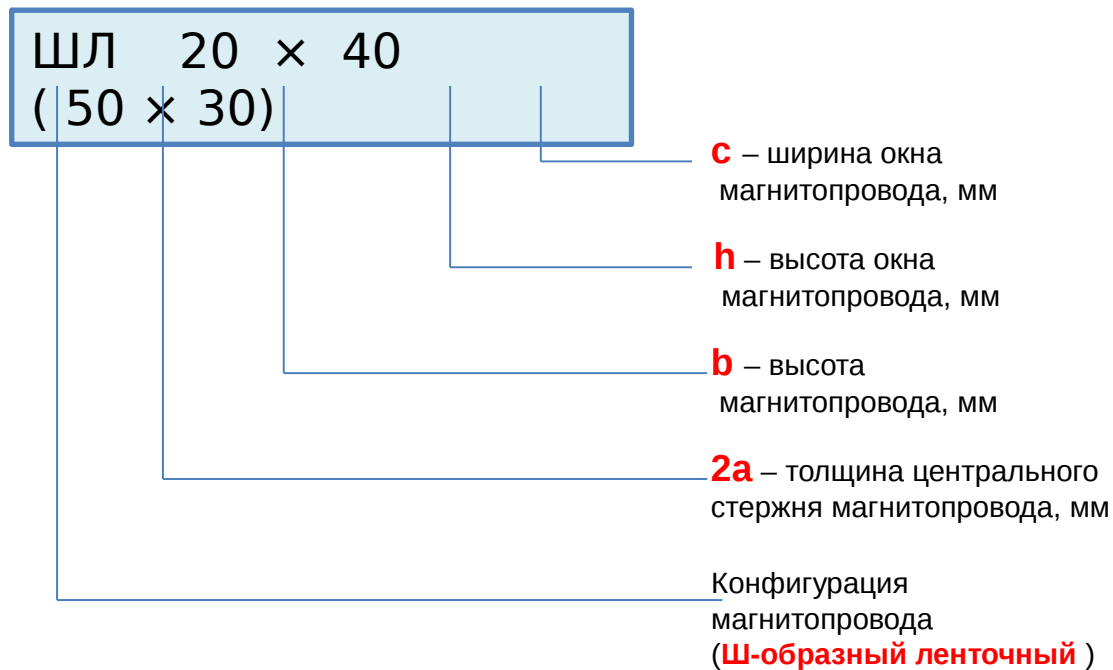


Размеры разрезного П-образного овалового ленточного магнитопровода ГМ 24ДС (ПОЛ, $2R=c$). Место реза указывается при заказе.



Размеры разрезного Ш-образного ленточного магнитопровода ГМ 24ДС (ШЛ). Место реза указывается при заказе.

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
«ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Композиционные прямоугольные
разрезные магнитопроводы.



Условное обозначение разрезного композиционного магнитопровода ШЛ

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
«ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Композиционные разрезные
магнитопроводы.

Магнитопроводы ГМ 24ДС изготавливают с покрытием из полипропилена (температура эксплуатации 100 °С), и стеклянной электроизоляционной ленты (температура эксплуатации 200 °С).

Разрезные магнитопроводы ГМ 24ДС поставляются в виде двух половинок.

Численное значение немагнитного зазора заказчик выбирает по своему усмотрению. Коэффициент индуктивности A_L при минимальном немагнитном зазоре магнитопровода ГМ 24ДС можно вычислить по формуле:

$$A_L = 2,5 \times 10^{-4} \times S^{0,61},$$

где A_L – коэффициент индуктивности, Гн;

S – площадь поперечного сечения магнитопровода, м².

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
«ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Кольцевые магнитопроводы из
электротехнической стали.

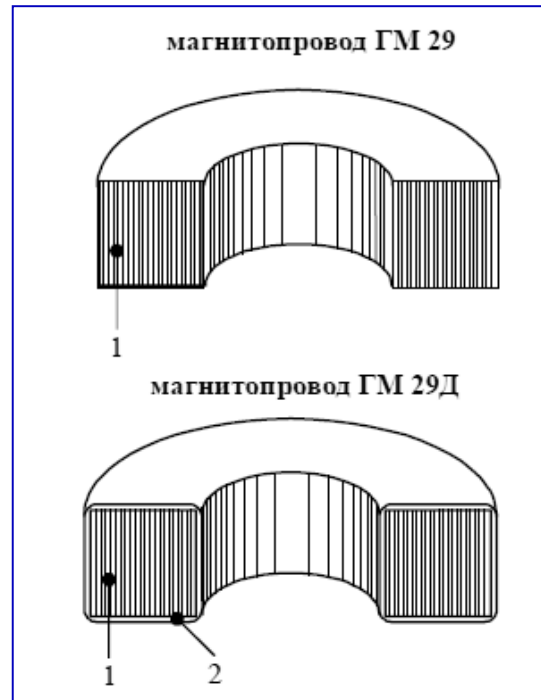
Ленточные кольцевые магнитопроводы ГАММАМЕТ® 29 изготавливаются из анизотропной электротехнической стали толщиной 0,35, 0,30, а магнитопроводы ГАММАМЕТ® 27 – из анизотропной электротехнической стали толщиной 0,08 мм. Магнитные свойства электротехнической стали соответствуют ГОСТ 21427.1-83 «Сталь электротехническая тонколистовая» или ГОСТ 21427.4-78 «Лента стальная электротехническая холоднокатаная анизотропная».

Магнитопроводы **поставляются** после термической обработки для снятия напряжений, возникающих после резки и смотки ленты.

Магнитопроводы **используют** для изготовления измерительных трансформаторов тока и напряжения, силовых трансформаторов, трансформаторов питания, согласующих трансформаторов работающих при частоте 50 Гц (толщина стали 0,3 мм или 0,35 мм) и 400 – 1000 Гц (толщина стали 0,08 мм).

Магнитопровод может иметь **покрытие**, например, из полимерных материалов, что отмечено буквой **Д** в условном обозначении.

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
«ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Кольцевые магнитопроводы из
электротехнической стали.



Общий вид магнитопроводов из электротехнической стали: 1 – ленточный магнитопровод; 2 – полимерное покрытие.

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
«ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Кольцевые магнитопроводы из
электротехнической стали.

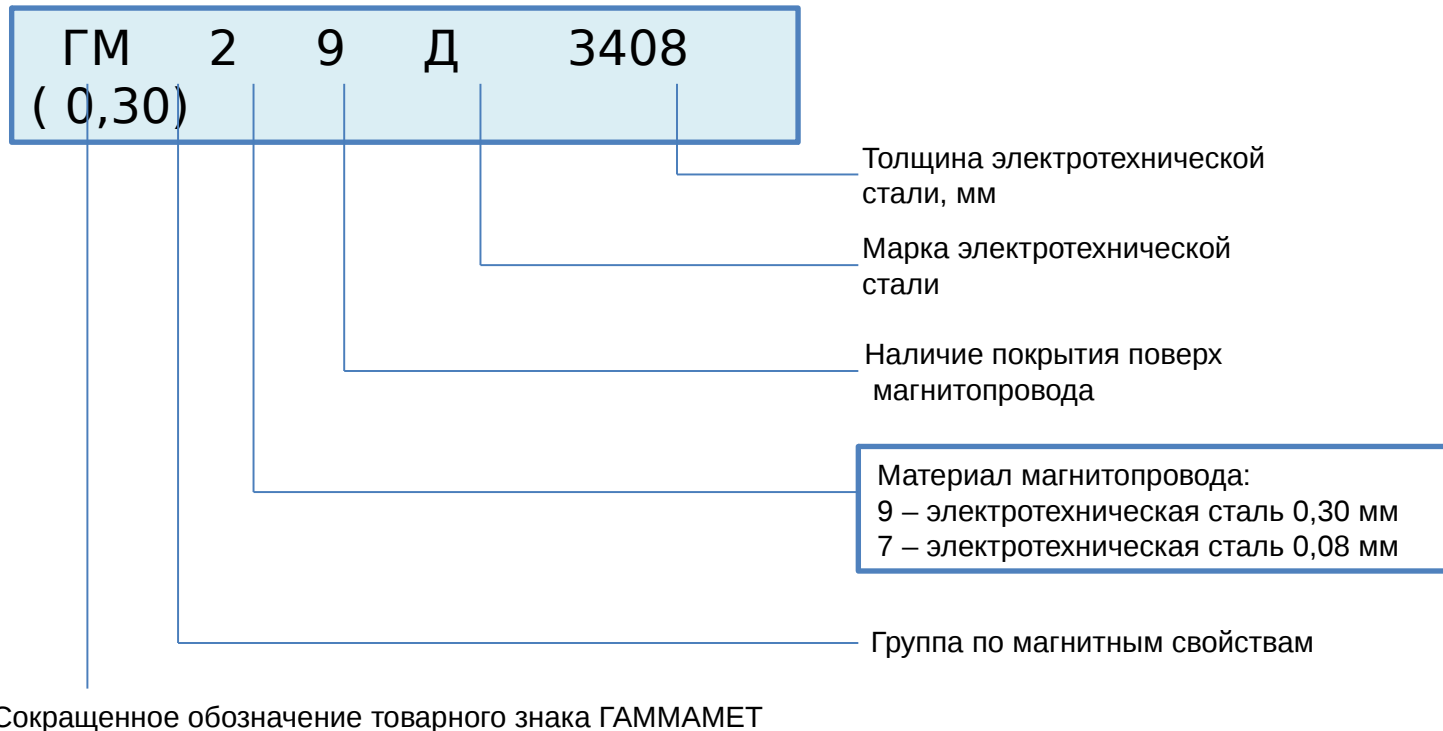
Ленточный кольцевой магнитопровод с наружным диаметром 64 мм, внутренним диаметром 40 мм и высотой 20 мм, изготовленный из анизотропной электротехнической стали марки 3408 толщиной 0,30 мм, имеет **условное обозначение ГМ 29-3408(0,30) ОЛ40/64-20.**

Магнитопроводы **работают в интервале температур от -196 °С до +400 °С.** Температурный интервал применения магнитопроводов ГМ 29Д с изоляционным покрытием ограничен свойствами покрытия. Магнитопроводы с полипропиленовым покрытием можно использовать при температуре от минус 60 °С до плюс 100 °С.

Размеры магнитопроводов ГМ 29 соответствуют **ГОСТ 24011-80 «Магнитопроводы ленточные кольцевые. Конструкция и размеры».** Магнитопроводы нестандартных размеров имеют наружный диаметр не более 600 мм и внутренний диаметр не менее 20 мм.

Из таблицы «Мощность трансформатора и соответствующий типоразмер магнитопроводов ГМ 29-3408(0,30)» можно выбрать типоразмер магнитопровода ГМ 29-3408(0,30), который соответствует заданной мощности трансформатора при частоте 50 Гц.

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
«ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Кольцевые магнитопроводы из
электротехнической стали.



Структура условного обозначения кольцевого магнитопровода из электротехнической стали.

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
 «ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Кольцевые магнитопроводы из
 электротехнической стали.

Мощность трансформатора и соответствующий типоразмер магнитопроводов ГМ 29-3408(0,30)	
Мощность трансформатора , ВА	Типоразмер магнитопровода
6,3	ОЛ 25/45-15
10	ОЛ 25/45-20
12	ОЛ 32/50-20
16	ОЛ 35/55-20
20	ОЛ 30/45-40
25	ОЛ 40/65-20
40	ОЛ 50/70-25
50	ОЛ 50/80-20
63	ОЛ 55/80-25
75	ОЛ 40/64-40

Мощность трансформатора и соответствующий типоразмер магнитопроводов ГМ 29-3408(0,30)	
Мощность трансформатора , ВА	Типоразмер магнитопровода
100	ОЛ 60/90-30
120	ОЛ 50/80-40
160	ОЛ 60/100-30
250	ОЛ 70/110-40
400	ОЛ 80/120-50
630	ОЛ 90/140-50
1000	ОЛ 100/150-60
1600	ОЛ 110/170-70
2500	ОЛ 120/190-80
4000	ОЛ 140/215-100

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
«ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Комбинированные кольцевые
магнитопроводы.

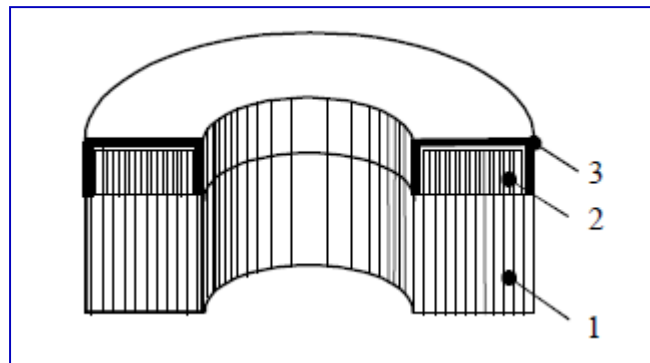
Комбинированные магнитопроводы ГМ 29-4 изготавливают из анизотропной *электротехнической* стали и нанокристаллического сплава ГМ 414 (рисунок «Комбинированный магнитопровод ГМ 29-4»). Вставка из нанокристаллического сплава ГМ 414 позволяет повысить магнитную проницаемость в слабых полях.

Комбинированные магнитопроводы ГМ 29-4 используют в измерительных трансформаторах тока и напряжения при частоте 50 Гц.

Применение комбинированных магнитопроводов позволяет изготовить экономичные трансформаторы тока коммерческого класса S.

Комбинированные магнитопроводы изготавливаются с наружным диаметром не более 600 мм.

Магнитопроводы научно-производственного предприятия (НПП)
«ГАММАМЕТ», г. Екатеринбург. Комбинированные кольцевые
магнитопроводы.



Комбинированный магнитопровод ГМ 29-4:

- 1 – магнитопровод из анизотропной электротехнической стали;
- 2 – магнитопровод из нанокристаллического сплава ГМ 414;
- 3 – защитный контейнер.

Система обозначений ферритовых сердечников отечественного производства



Система обозначений ферритовых сердечников отечественного производства. Материал сердечника.

НМ	Марганец – цинковые НЧ для слабых магнитных полей	ВНРП	Никель – цинковые ВЧ радиопоглощающие	СЧ	СВЧ поликристаллические ²
НН	Никель – цинковые НЧ для слабых магнитных полей	ВБФ	Барий – кобальтовые ВЧ со структурой ферросплава	СЧК	СВЧ монокристаллические ²
ННП	Никель – цинковые НЧ для перестройки частоты	ННС	Никель – цинковые НЧ для сильных магнитных полей	СЧА	СВЧ анизотропные поликристаллические ²
МТ	Марганец – цинковые твердые	НМС	Марганец – цинковые НЧ для сильных магнитных полей	АФМК	Антиферромагнетики монокристаллические ²
НТ	Никель – цинковые твердые	ВНС	Никель – цинковые ВЧ для сильных магнитных полей	БИ	Бариевые изотропные ²
МК	Марганец – цинковые монокристаллические	НМИ	Марганец – цинковые НЧ для импульсных полей ¹	БА	Бариевые анизотропные ²
ВН	Никель – цинковые ВЧ для слабых магнитных полей	ННИ	Никель – цинковые НЧ для импульсных полей ¹	СИ	Стронциевые изотропные ²
ВЛ	Литий – цинковые ВЧ для слабых магнитных полей	ВННИ	Никель – цинковые ВЧ для импульсных полей ¹	СА	Стронциевые анизотропные ²
ВНЛ	Никелевые и никель – цинковые для перестройки частоты	ВЛИ	Литий – цинковые ВЧ для импульсных полей ¹	КА	Кобальтовые анизотропные ²

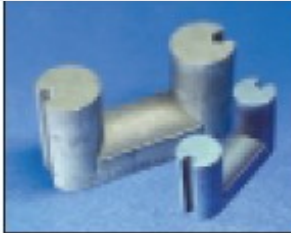
Система обозначений ферритовых сердечников
отечественного производства. Кольцевые
ферритовые сердечники.

Шифр	Размеры и обозначения	Наименование сердечника	Чертеж	Внешний вид
к	$D \times d \times h$	Кольцевой		

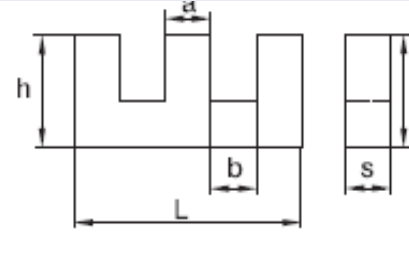

Применение: в импульсных, согласующих и широкополосных трансформаторах, линейных фильтрах, дросселях и трансформаторах вторичных источников питания.

Свойства: возможно одновременное использование нескольких сердечников с вертикальной сборкой, выпускается большой ряд типоразмеров с D от 3 мм до 180 мм, имеются конфигурации с округленными кромками и с защитным покрытием.

Система обозначений ферритовых сердечников
отечественного производства. П-образные
ферритовые сердечники.

Шифр	Размеры и обозначения	Наименование сердечника	Чертеж	Внешний вид
ПП	$L \times a \times s$	П-образный (А)		
ППП	$L \times a \times s$	П-образный замкнутый		
ПК	$L \times d$	П-образный круглого сечения диаметром d (В)		
ПКП	$L \times d$	П-образный замкнутый круглого сечения диаметром d		

Система обозначений ферритовых сердечников
отечественного производства. Ш-образные
ферритовые сердечники.

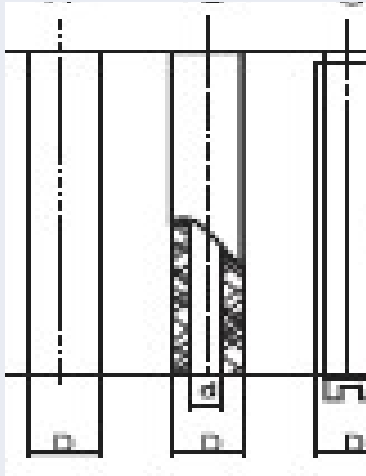

Шифр	Размеры и обозначения	Наименование сердечника	Чертеж	Внешний вид
Ш	$a \times s$	Ш-образный		
ШП	$a \times s$	Ш-образный замкнутый		

Примечание. Выпускаются Ш-образные сердечники с зазором для снижения влияния постоянной составляющей магнитного поля и расширения рабочего диапазона частот, а также низкопрофильные сердечники типа Ш и ШП для изготовления малогабаритных микромодульных источников питания с частотой преобразования до 1 МГц.

Система обозначений ферритовых сердечников отечественного производства. Броневые и чашечные ферритовые сердечники

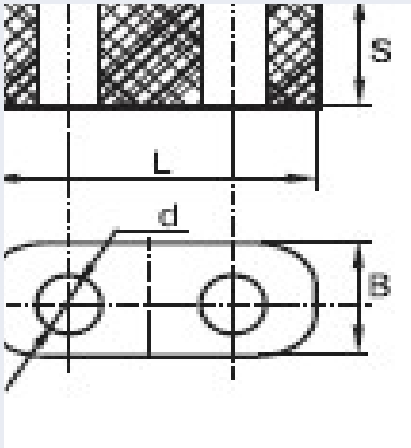

Шифр	Размеры и обозначения	Наименование сердечника	Чертеж и внешний вид
Б	d_1	Броневой цилиндрический	
Ч	d_1	Чашка к сердечнику Б (А)	
БЧ	$d_1 \times 2h_1(a, б)$	Чашечный с 2 вертикальными сквозными пазами	
Ч	$d_1 \times h_1(a, б)$	а) – с 1 вертикальным сквозным пазом	
		б) – с 2 горизонтальными закругленными пазами	
		Чашка к сердечнику БЧ (В)	
СБ	d_1 или $d_1 \times 2h_1$	Броневой чашечный	
ЧГ	d_1 или $d_1 \times h_1$	«Гладкая чашка» к СБ	
ЧР	d_1 или $d_1 \times h_1$	«Гладкая чашка» к СБ с резьбой (С)	

Система обозначений ферритовых сердечников
отечественного производства. Стержневые
ферритовые сердечники.

Шифр	Размеры и обозначения	Наименование сердечника	Чертеж	Внешний вид
С	$D \times L$	Стержневой (А)		
ПС	$D \times L$	Стержневой подстроечный (А)		
Т	$D \times d \times L$	Трубчатый (В)		
ПТ	$D \times d \times L$	Трубчатый подстроечный (В)		
ПР	$D \times s \times L$	Резьбовой подстроечный (С)		

Примечание. Размер и тип подстроечных стержневых сердечников указываются в технических характеристиках основного сердечника.

Система обозначений ферритовых сердечников
отечественного производства. Многоотверстные
ферритовые сердечники.

Шифр	Размеры и обозначения	Наименование сердечника	Чертеж	Внешний вид
Тр	$L \times B \times S$ $d - n$	n - отверстие		
<p>Примечание. Производятся сердечники эллиптические и цилиндрические с количеством отверстий 2, 4, 6 и более.</p>				

Порошковые материалы (магнитные диэлектрики)

Возможность использования сердечников из данных материалов с диаметром до 78 мм открывает новые возможности для создания мощных преобразователей. Наличие диэлектрического покрытия облегчает намотку и увеличивает долговечность изделий при эксплуатации в неблагоприятных климатических условиях.

Сердечники на основе Mo-пермаллоя характеризуются наименьшими потерями, идеальной временной и температурной стабильностью магнитной проницаемости, что делает их незаменимыми для создания высокостабильных прецизионных катушек индуктивности. Однако достаточно высокая стоимость, вызванная высоким содержанием никеля, не всегда позволяет использовать их в массовых изделиях.

С этой точки зрения особый интерес для использования в изделиях силовой электроники представляют недорогие материалы типа Kool Mu (Sendust), представляющие собой сплав железа с алюминием.

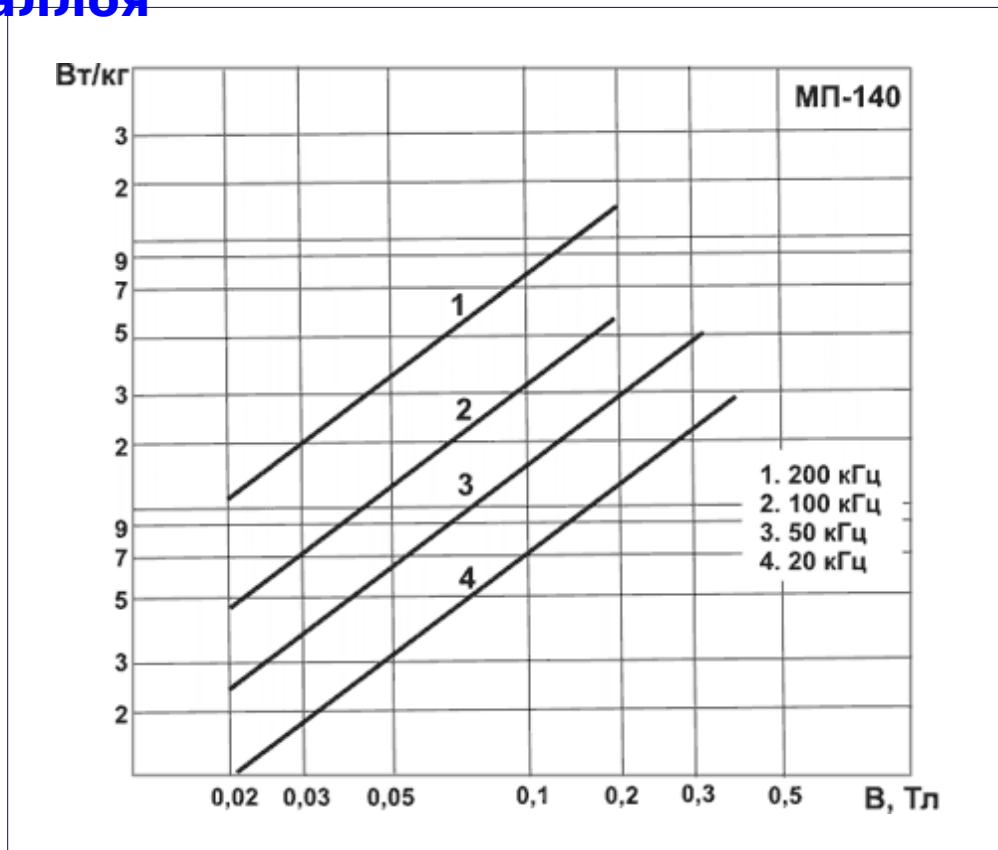
Порошковые материалы (магнитные диэлектрики)

По экономическим показателям средняя цена 1 кг ферритовых изделий в мощных преобразователях составляет около 10 долларов, сердечников на основе Мо-пермаллоя — 80 долларов, а сендастовых сердечников Kool M μ — 30 долларов.

Наличие типоразмеров большого диаметра, относительно низкие потери в сочетании с большой величиной индукции насыщения и, что немаловажно, доступные цены делают магнитопроводы из материала Kool M μ перспективными для применений в моточных изделиях **для силовых преобразователей энергии.**

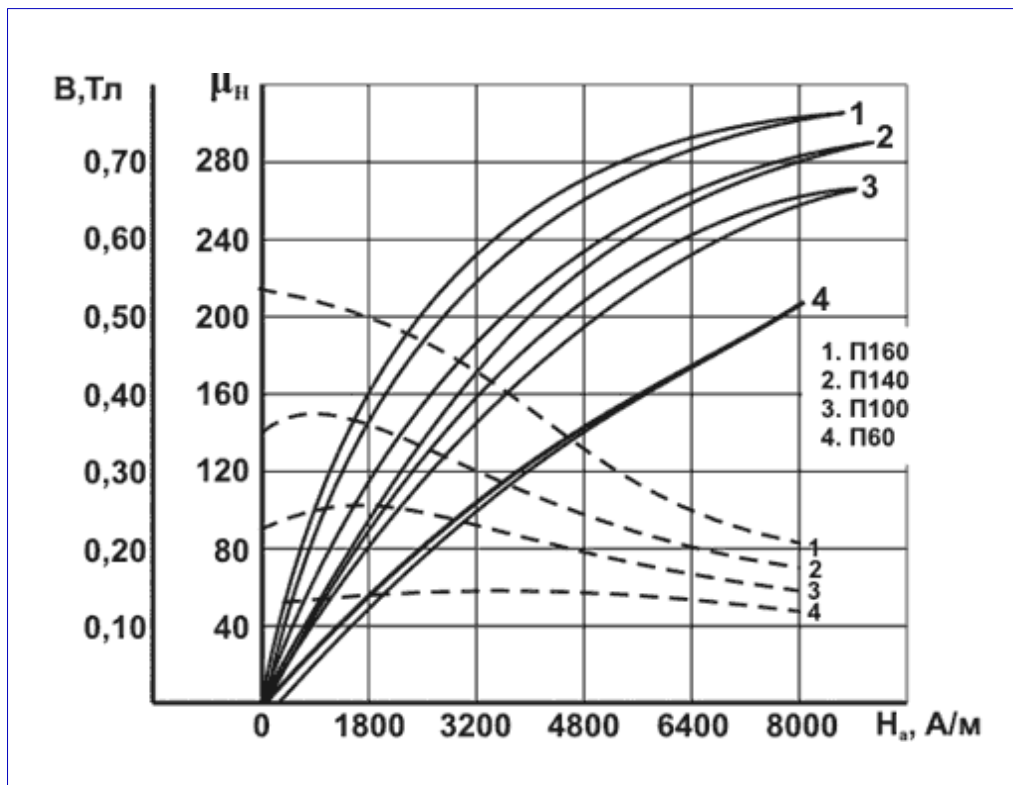
Традиционно российские разработчики могли использовать только сердечники на основе Мо-пермаллоя с проницаемостью от 14 до 250 и типоразмерным рядом от K7x4x3 до K52x36x14. Материалы, аналогичные High Flux и Kool M μ (см. табл. 4), отсутствовали, так как отечественная промышленность эти материалы не выпускала. В настоящее время на рынке России представлена также продукция фирм Magnetics и Arnold (см. табл. 5).

Свойства марок сердечников из Мо-пермаллоя



Удельные потери сердечника на различных частотах для марки П140

Свойства марок сердечников из Мо-пермаллоя



Гистерезисные циклы и зависимость начальной магнитной проницаемости от напряженности постоянного магнитного поля

Возможные замены марок материалов Мо-пермаллоя

Возможные замены марок материалов Мо-пермаллоя	
МП 14	MPP 14
МП 20	MPP 26
МП 60	MPP 60
МП 140	MPP 125
МП 160	MPP 160
МП 250	MPP 200 или MPP 300



Таблица 4. Магнитные материалы фирмы Magnetics

Параметры магнитных материалов	Mo-пермаллой	High Flux	XFlux	Kool M_μ
Начальная магнитная проницаемость	$14 < \mu_{нач} < 55$ 0	$14 < \mu_{нач} < 16$ 0	60	$26 < \mu_{нач} < 125$ 25
Удельные потери мощности	Самые низкие	Умеренные	Умеренные	Низкие
Зависимость магнитной проницаемости от намагничивания постоянного тока	Хорошая	Наилучшая	Наилучшая	Средняя
Индукция насыщения, Тл	0,75	1,5	1,6	1,05
Содержание никеля	80%	50%	0%	0%
Удельная стоимость	Высокая	Средняя	Низкая	Низкая

Таблица 5. Магнитные материалы фирм
Magnetics и Arnold

Magnetics	Arnold	Отечественный аналог	Ближайший зарубежный аналог
77280-A7	MS-038125-8	M140 K10x6x3	HS125 R9,65x4,78x3,18
77290-A7	—	M140 K10x6x4,5	HS125 R9,65x4,78x3,96
77050-A7	MS-050125-2	M140 K13x7x5	HS125 R12,7x7,62x4,75
77120-A2	MS-065125-2	M140 K15x7x6,7	HS125 R16,5x10,2x6,35
77380-A7	MS-068125-2	M140 K17x10x6,5	HS125 R17,3x9,65x6,35
77206-A7	MS-080125-2	M140 K20x12x6,35	HS125 R20,3x12,7x6,35
77350-A7	MS-092125-2	M140 K24x13x7	HS125 R23,6x14,4x8,89
77324-A7	MS-141125-2	M140 K36x25x9	HS125 R35,8x22,4x10,5
77254-A7	MS-157125-2	M140 K44x28x10,3	HS125 R39,9x24,1x14,5
77715-A7	MS-200125-2	M140 K52x36x14	HS125 R50,8x31,8x13,5

Система обозначений сердечников из магнитных диэлектриков отечественного производства

М П К 140 - 4 КП 24×13×4

Наименование магнитного диэлектрика

Изделие из магнитного материала

Наличие температурной компенсации

Начальная магнитная проницаемость

Порядковый номер разработки

Конфигурация сердечника

Типоразмер сердечника

Система обозначений сердечников из магнитных диэлектриков отечественного производства. Наименование магнитного диэлектрика

Наименование магнитного диэлектрика	
ТЧ	Тонально - частотный состав
ВЧ	Высокочастотный состав
П	Прессованный Мо - пермаллой
Р	Карбонильное железо для радиоаппаратуры
ПС	Карбонильное железо для аппаратуры электросвязи



Порошковые сердечники (сердечники из магнитных диэлектриков) с высокой индукцией насыщения





Порошковые сердечники (сердечники из магнитных диэлектриков) с высокой индукцией насыщения

Сердечники **MPP** представляют собой кольцевые сердечники, изготовленные на 79% из никеля, на 17% из железа и на 4% из молибденового порошка и имеют наименьшие потери из всех порошковых материалов. Преимуществом сердечников MPP является высокое удельное сопротивление, низкие величины значений гистерезиса и вихревых токов, высокая стабильность индуктивности после намагничивания большим постоянным током. Высокая температурная и временная стабильность магнитной проницаемости от температуры делает их незаменимыми для изготовления высокоточных катушек индуктивности, работающих в широком интервале температур. При обычных условиях хранения индуктивность сердечника изменится менее чем на 0,05%.



Порошковые сердечники (сердечники из магнитных диэлектриков) с высокой индукцией насыщения

Фирма Magnetics выпускает из порошкового материала Kool M μ 12 типоразмеров П-образных сердечников конфигурации U, предназначенных для использования в качестве магнитопроводов дросселей, работающих при больших значениях тока. Сердечники конфигурации U выпускаются из материала Kool M μ с проницаемостью 26 μ , 40 μ , 60 μ , 90 μ и характеризуются низкими потерями, близкими к нулевыми значениями магнитострикции. В отличие от ферритовых материалов и сердечников на основе кремниевой стали, сердечники из материала Kool M μ не теряют своих параметров при высоких температурах больше 200°C.



Порошковые сердечники (сердечники из магнитных диэлектриков) с высокой индукцией насыщения

Примеры обозначения μ 26 6527U 00K6527U026

00 — Код разбраковки по AL (00 — $\pm 8\%$)

K — код материала Kool M μ

6527 — код типоразмера

U — код конфигурации (Сердечник U)

026 — код материала μ 26

Единица измерения: штука



Порошковые сердечники (сердечники из магнитных диэлектриков) с высокой индукцией насыщения

Сердечники **High Flux** имеют состав 50% из никеля и 50% из порошкового железа и обладают высокой индукцией насыщения по сравнению с другими порошковыми материалами. Сердечники High Flux обладают рядом преимуществ, которые позволяют их рекомендовать для применений, требующих высокой мощности, высокого подмагничивания постоянного или переменного токов на высоких частотах. Индукция насыщения сердечников High Flux 1,5 Тл, что гораздо больше, в сравнении с 0,75 Тл для стандартных сердечников МРР или 0,45 Тл для ферритовых сердечников. Сердечники High Flux имеют потери значительно меньшие, чем у сердечников из распыленного железа (iron powder cores). В большинстве применений использование сердечников High Flux обеспечивает значительное уменьшение размеров моточных изделий по сравнению с другими сердечниками из порошковых материалов.



Порошковые сердечники (сердечники из магнитных диэлектриков) с высокой индукцией насыщения

Сердечники **Kool M μ** изготавливаются из сплава железа с алюминием и характеризуются низкими потерями при повышенных частотах. Магнитострикция, близкая к нулю делает сердечники Kool M μ идеальными для устранения звуковых шумов в фильтрах. Сердечники Kool M μ имеют значительно меньшие потери, чем сердечники на основе распыленного железа и обеспечивают уменьшение габаритов моточных изделий и величину температурных скачков по сравнению с последними. **Благодаря низкой стоимости сердечники Kool M μ широко используются в мире в схемах источников питания.**

Не содержащие дорогостоящего никеля, а следовательно, недорогие сердечники из нового материала **XFLUX** сочетают в себе ранее не доступные для других никель не содержащих материалов характеристики, как **повышенную величину индукции (1,6Тл)** и высокую стабильность магнитной проницаемости от температуры.



Кольцевые порошковые сердечники из материалов MPP, High Flux, Kool M μ , XFlux

Фирма **Magnetics** выпускает 33 типоразмера кольцевых порошковых сердечников с распределенным зазором из материалов с высокой индукцией насыщения MPP, High Flux, Kool M μ , XFlux с внешним диаметром от 3,56 мм до 165,1 мм.





Кольцевые порошковые сердечники из материалов MPP, High Flux, KooL Mμ, XFlux

Кольцевые порошковые сердечники **обычно используются** в качестве магнитопроводов выходных DC-дросселей импульсных источников питания, обратноходовых трансформаторов и дифференциальных дросселей.

Сердечники MPP также **широко применяются** в качестве магнитопроводов высокоточных катушек индуктивности, стабильных в широком интервале температур.

Отсутствие в составе порошковых сердечников Magnetics органических наполнителей, в сочетании с высокой температурой Кюри, **обеспечивает отсутствие термического старения** и **стабильность параметров** изделий на их основе при постоянной работе на высоких температурах.

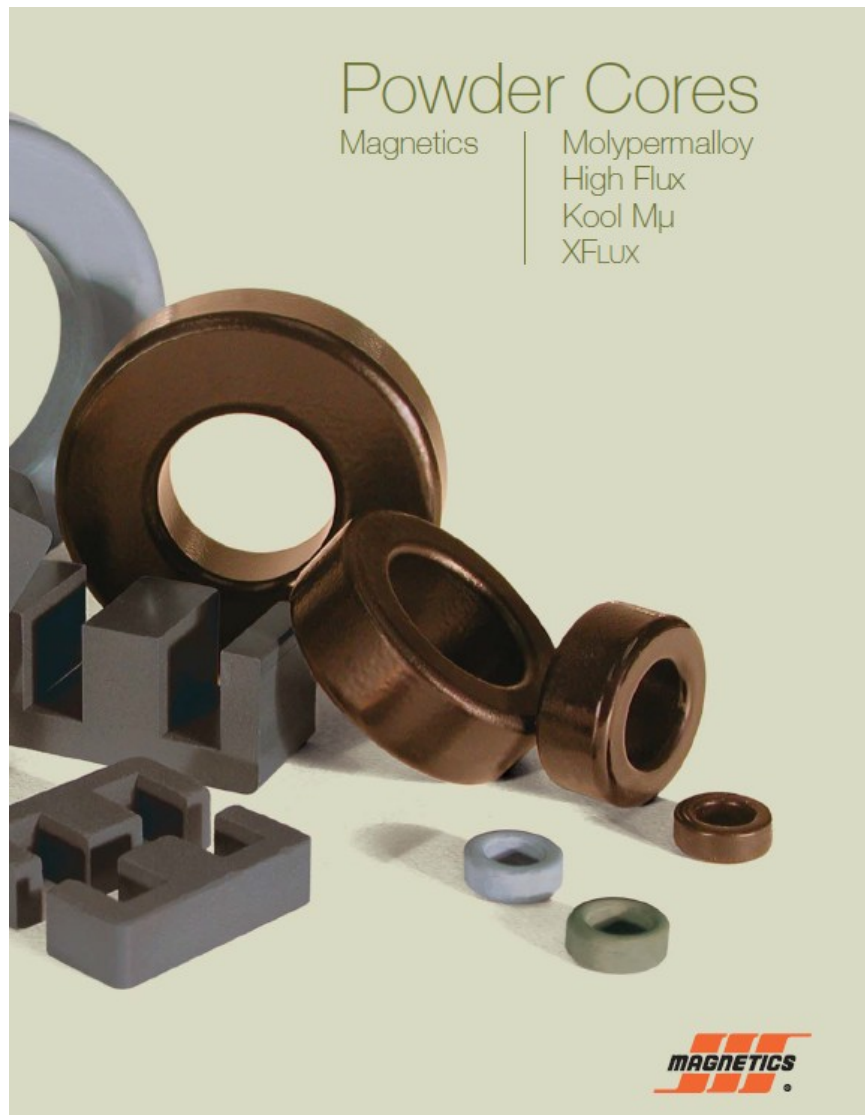


Выпускаемые фирмой Magnetics кольцевые порошковые сердечники характеризуются высокой повторяемостью и жесткими требованиями по разбросу коэффициента одновитковой индуктивности (от 2% до 8%), что строже требований отечественных ТУ на сердечники из Мо-пермаллоя с приемкой ПЗ КГЖП757140.001ТУ и ОЖО.707.180 ТУ (разброс до 10%).

Геометрические размеры и эффективные параметры кольцевых порошковых сердечников MPP, High Flux, Kool Mμ, XFlux, выпускаемых фирмой Magnetics , можно найти **в каталоге фирмы Magnetics.**



Каталог фирмы Magnetics





Серьезным преимуществами по сравнению с дорогостоящими отечественными кольцевыми сердечниками из Мо-пермаллоя, выпускаемых с размерами от К7*4*3 до К52*36*14 также являются:

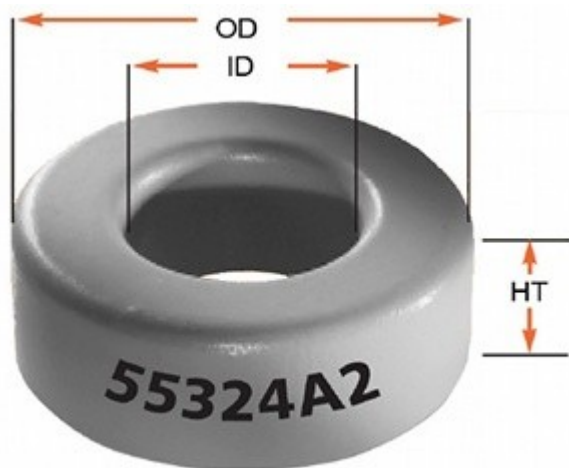
1. Возможность оптимального выбора сердечника магнитопровода из четырех различных порошковых материалов, выпускаемых значительно более широкими, чем отечественные сердечники, типоразмерными и номенклатурными рядами

2. Высококачественное защитное диэлектрическое покрытие эпоксид или парилен, облегчающее процесс намотки и улучшающее защиту материала сердечника от неблагоприятного воздействия внешней среды

3. Значительно меньшая стоимость (от нескольких раз на сердечники из материала Kool M до десятков процентов на сердечники из MPP)



Геометрические размеры и эффективные параметры



Примеры обозначения:

MPP125 R35,8x22,4x10,5 C055324A2

C0 — Код разбраковки по AL (00 - не разбраковывается)

55- код материала (MPP)

324 — код типоразмера и проницаемости

E — код конфигурации (Сердечник E)

A2 — тип покрытия

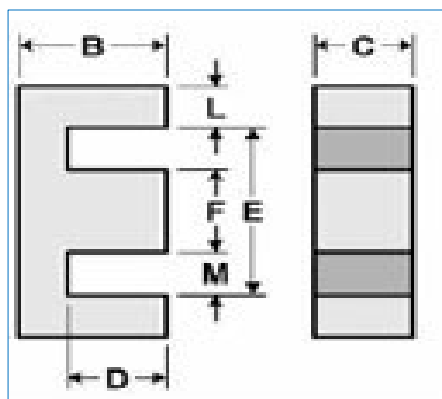
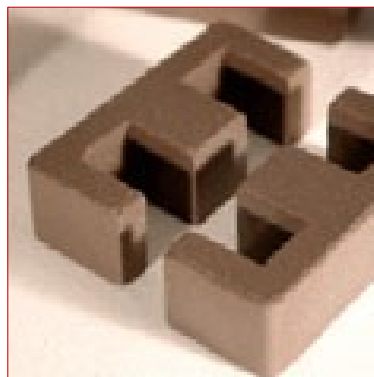
Пример записи в конструкторской документации:

MPP125 R20,3*12,6*6,35 C055206-A2



Сердечники конфигурации E из материала Kool Mμ

Сердечники E-образные из материала Kool Mμ выпускаются с проницаемостью 26μ, 40μ, 60μ и 90μ.



Примеры обозначения в конструкторской документации

μ26 E55/28/21 00K5528E026

00 — Код разбраковки по AL
(00 — не разбраковывается)

K — код материала Kool Mμ
5528 — код типоразмера

E — код конфигурации
(Сердечник E)

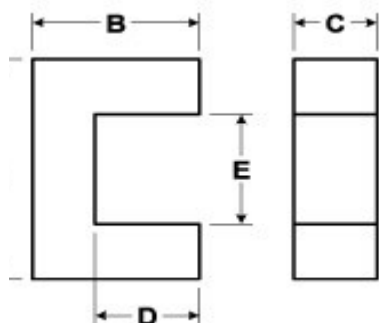
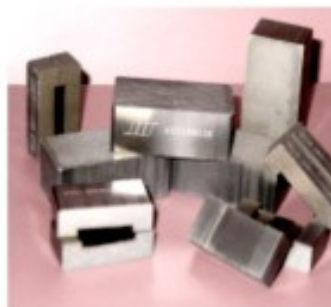
026 — код материала μ26

Единица измерения: штука



Сердечники конфигурации конфигурации U и пластина I из материала Kool Mμ

Фирма Magnetics выпускает из порошкового материала Kool Mμ **12 типоразмеров П-образных сердечников конфигурации U**, предназначенных для использования в качестве магнитопроводов дросселей, работающих при больших значениях токах. Сердечники конфигурации U выпускаются из материала Kool Mμ с проницаемостью 26μ, 40μ, 60μ, 90μ и характеризуются низкими потерями, близкими к нулевому значениями магнитострикции. В отличие от ферритовых материалов и сердечников на основе кремниевой стали, сердечники из материала Kool Mμ не теряют своих параметров при высоких температурах больше 200°C.



Примеры обозначения **μ26 6527U 00K6527U026**

00 — Код разбраковки по AL (00 — ± 8%)

K — код материала Kool Mμ

6527 — код типоразмера

U — код конфигурации (Сердечник U)

026 — код материала μ26

Единица измерения: штука



"Квадратный" ортонол (SQUARE ORTHONOL)

Данный материал представляет собой текстурированный сплав с 50-процентным содержанием никеля и железа, выпускаемый для удовлетворения конкретных требований к высокой степени прямоугольности петли гистерезиса и к высокому уровню усиления в сердечнике и используемый обычно в насыщающихся реакторах, в магнитных усилителях с высоким усилением, в бистабильных переключающих устройствах и в силовых системах с инверторами-конвертерами. Другими вариантами применения, в которых требуется выбор **SQUARE ORTHONOL**, являются линии задержки, счетчики расхода и измерительные датчики, где требуется высокая точность прямоугольной формы петли гистерезиса.



"Квадратный" пермаллой 80 (SQUARE PERMALLOY 80)

Данный материал представляет собой нетекстурированный железо-никелевый сплав с 80-процентным содержанием никеля, выпускаемый для удовлетворения конкретных требований к высокой степени прямоугольности и к высокому уровню усиления в сердечнике в магнитных преусилителях и модуляторах. В частности, этот материал очень полезен в инверторах и конвертерах, где требуется высокое напряжение при низких уровнях мощности, но потери в цепи должны быть сведены к минимуму. **SQUARE PERMALLOY 80** имеет магнитную индукцию насыщения примерно вдвое ниже, чем **SQUARE ORTHONOL**, но значения коэрцитивной силы, равные примерно $1/5 - 1/7$ данного параметра текстурированного сплава с 50-процентным содержанием железа и никеля. Усиление в сердечнике из **SQUARE PERMALLOY 80** примерно в 1,7 раза превышает усиление в сердечнике из **SQUARE ORTHONOL**.



"Супермаллой" (SUPERMALLOY)

Данный материал является продуктом специальной технологической обработки железо-никелевого сплава с 80-процентным содержанием никеля. Он изготавливается для получения экстремальных значений высокой начальной магнитной проницаемости и низких потерь. Значения начальной магнитной проницаемости составляют от 40000 до 100000, и при этом коэрцитивная сила равняется примерно 1/3 коэрцитивной силы "квадратного" пермаллоя 80. **SUPERMALLOY** очень полезен в сверхчувствительных трансформаторах (особенно в импульсных трансформаторах) и в сверхчувствительных магнитных усилителях, где обязательным условием функционирования являются низкие потери.



Магnezил (MAGNESIL)

Данный материал, являющийся текстурированным железо-кремниевым сплавом с 3-процентным содержанием кремния, подвергается технологической обработке и отжигу для получения высокой степени прямоугольности петли гистерезиса и низких потерь в сердечнике. Обычно он используется в высококачественных тороидальных силовых трансформаторах, трансформаторах тока, в магнитных усилителях и насыщающихся реакторах с высоким уровнем мощности. Данный материал имеет высокую магнитную индукцию насыщения при высокой степени прямоугольности петли гистерезиса, но характеризуется относительно высокими значениями коэрцитивной силы и потерь в сердечнике. Благодаря высокому значению температуры Кюри, данный материал очень полезен в магнитных устройствах, на которые действуют температуры в диапазоне от 200°C (392°F) до 500°C (932°F). При более высоких значениях температуры следует использовать только сердечники без оболочки ввиду температурных ограничений по оболочке.



Сплав 48 (48 ALLOY)

Данный материал, являющийся сплавом с 50-процентным содержанием никеля и железа, имеет округлую петлю гистерезиса в координатах В-Н и характеризуется более низким значением магнитной индукции насыщения, худшей прямоугольностью, меньшей коэрцитивной силой и более низким усилением в сердечнике, чем типовой ортонол. Данный материал полезен в таких устройствах, где требуется пониженная коэрцитивная сила, как специальные трансформаторы, насыщающиеся реакторы и магнитные усилители с пропорциональным усилением. Потери по переменному току в сердечнике из **48 ALLOY** обычно являются более низкими по сравнению с потерями в сердечнике из **SQUARE ORTHONOL**.



"Круглый" пермаллой 80 (ROUND PERMALLOY 80)

Данный материал, являющийся неструктурированным железо-никелевым сплавом с содержанием никеля 80%, обрабатывается по технологии, обеспечивающей получение высокой начальной магнитной проницаемости и низкой коэрцитивной силы. Этот материал имеет меньшую степень прямоугольности и меньшее усиление в сердечнике по сравнению с "квадратным" материалом, поскольку именно ценой ослабления этих характеристик достигаются высокая начальная магнитная проницаемость и низкая коэрцитивная сила. **ROUND PERMALLOY 80** особенно полезен при конструировании высокочувствительных трансформаторов входных и промежуточных ступеней, где имеются чрезвычайно слабые сигналы и отсутствует постоянный ток. Этот материал используется также в трансформаторах тока, где необходимо поддерживать минимальные потери и обязательной характеристикой является высокая точность. Начальная магнитная проницаемость данного материала равняется обычно от 20000 до 50000 при значениях коэрцитивной силы, равных примерно 70% коэрцитивной



Супермендюр (**SUPERMENDUR**)

Данный материал, выпускаемый в малых количествах по специальным заказам, представляет собой сплав с 50-процентным содержанием железа и кобальта с высокой степенью очистки. Он обрабатывается и отжигается по специальной методике для получения высокой степени прямоугольности петли гистерезиса и высокой магнитной индукции насыщения. **SUPERMENDUR** успешно используется в устройствах, где требуется максимально возможная миниатюризация и работа в условиях высоких температур. Этот материал может быть использован в тех же приложениях, что и Магnezил, однако при этом более высокая магнитная индукция данного материала (примерно 21000 гаусс) позволяет снижать габариты и вес сердечника. Этот материал имеет самое высокое значение температуры Кюри среди имеющихся сплавов с прямоугольной петлей гистерезиса, поэтому особенно подходит для работы на высоких температурах.

Сравнение характеристик магнитных материалов



Параметры магнитных материалов компании MAGNETICS

Тип материала	Магнитная индукция, Тл	Коэффициент прямоугольности, Br/Bm	Коэрцитивная сила на частоте 400 Гц, А/м
"Квадратный" ортонол (SQUARE ORTHONOL)	1,42 - 1,58	> 0,88	11,9 - 19,9
"Квадратный" пермаллой 80 (SQUARE PERMALLOY 80)	0,66 - 0,82	> 0,80	1,75 - 3,50
"Супермаллой" (SUPERMALLOY)	0,65 - 0,82	0,40 - 0,70	0,32 - 1,19
Магнесил (MAGNESIL)	1,15 - 1,40	0,80 - 0,92	6,40 - 12,0
Сплав 48 (48 ALLOY)	1,50 - 1,80	> 0,85	35,8 - 51,7
"Круглый" пермаллой 80 (ROUND PERMALLOY 80)	0,66 - 0,82	0,45 - 0,75	0,64 - 2,07
Супермендюр (SUPERMENDUR)	1,90 - 2,20	> 0,90	39,8 - 55,7

Сравнительная характеристика магнитных материалов

Название материала	Состав	Начальная магнитная проницаемость $\mu_{нач}$	Магнитная индукция насыщения B_S , Тесла	Температура Кюри T_C , °С	Коэрцитивная сила H_C , А/м	Плотность ρ , г/см ³
Электротехническая сталь (Magnesil)	3% Si 97% Fe	1500	1.5–1.8	750	30–50	7.3
Пермендюр (Supermendur)	49% Co 49% Fe 2% V	800	1.9-2.2	940	12–28	8.15
Низконикелевый пермаллой (Orthonol)	50% Ni 50% Fe	2000	1.42-1.58	500	8–16	8.24
Высоконикелевый пермаллой с ППГ (Sq. Permalloy)	79% Ni 17% Fe 4% Mo	12000–100000	0.66-0.82	460	1.6–3.2	8.73
Высоконикелевый пермаллой (Supermalloy)	78% Ni 17% Fe 5% Mo	10000–50000	0.65-0.82	460	0.5–0.64	8.76
Аморфный 2605-SC	81% Fe 13.5% B 3.5% Si	3000	1.5-1.6	370	2.4–6.4	7.32
Аморфный 2714A	66% Co 15% Si 4% Fe	20000	0.5-0.58	205	0.25 –1.6	7.59
Ферриты	MnZn	750–15000	0.3-0.5	100–300	3.2–20	4.8



Ферритовые кольцевые сердечники с зазором

Ферритовые кольцевые сердечники с пропилом (сосредоточенным зазором) производства фирмы Ferroxcube могут применяться для изготовления силовых обратноточковых трансформаторов и накопительных дросселей. Благодаря сосредоточенному зазору (пропилу) материал сердечника не входит в насыщения при больших токах

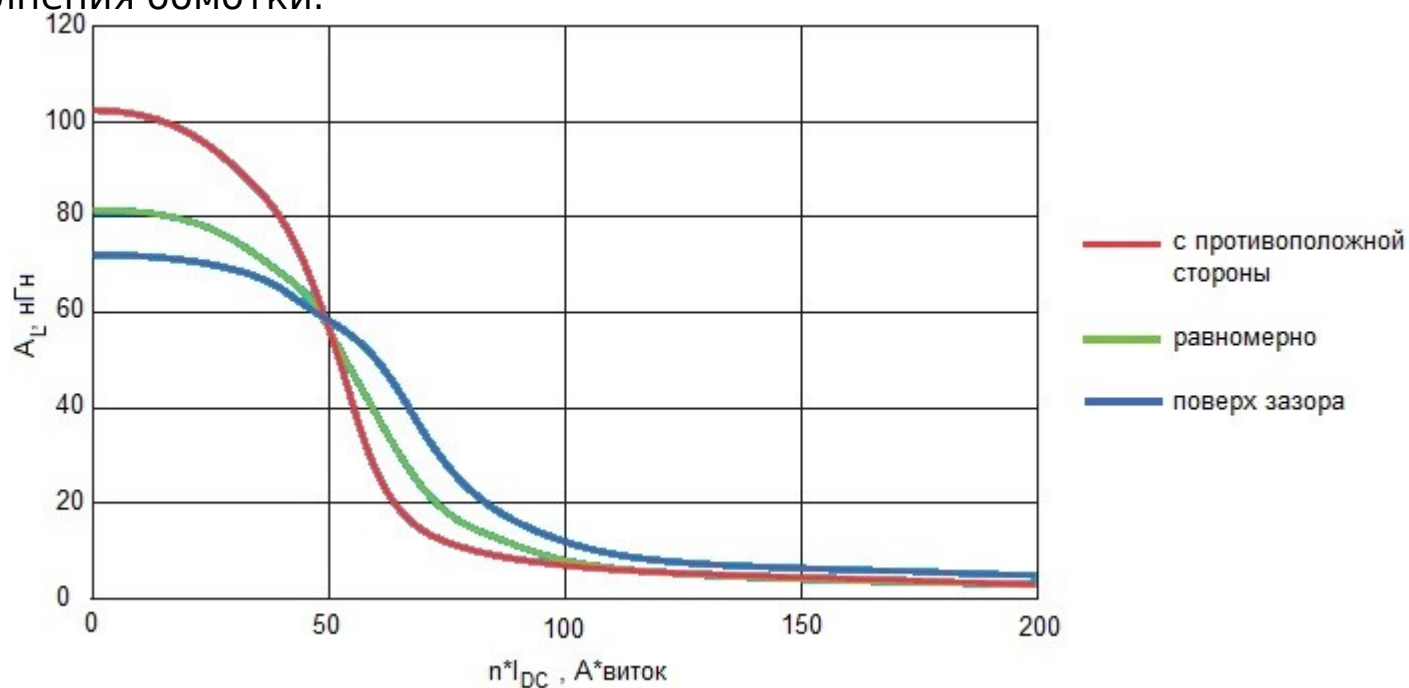
Сердечник изготавливается путем пропила требуемого зазора в цельном кольцевом сердечнике, изготовленном из материала [3C20](#), обладающего частотной стабильностью и высокой индукцией насыщения. На готовый сердечник с пропилом наносится нейлоновое покрытие, заполняющее зазор. Благодаря нанесению покрытия, готовый сердечник является визуально сплошным и намотка сердечника с пропилом принципиально не отличается от намотки обычного кольцевого сердечника.

Кольцевые ферритовые сердечники с пропилом стандартно выпускается с несколькими вариантами зазоров, обеспечивающих требуемое значение коэффициента одновитковой индуктивности.

Влияние расположения обмотки на индуктивность

Из-за наличия зазора на сердечнике индуктивность обмотки будет зависеть от того, как расположены витки: равномерно по кольцу, непосредственно поверх зазора или с противоположной стороны от него.

На графике ниже приведена зависимость индуктивности для зазорного кольцевого сердечника TN13/5-3C20-A79 от тока для трех вариантов выполнения обмотки.





Ферритовые кольцевые сердечники с зазором

Обозначение в конструкторской документации

TN 23/7,5 - 3C20 - A 106 - X

TN — конфигурация сердечника

23/7,5 — размер сердечника

3C20 — материал сердечника

A 106 — величина одновитковой индуктивности $A_L=106$ нГн

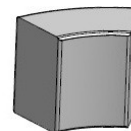
X — специальная версия.



Специальная конфигурация составного ферритового сердечника

Компания Ferroxcube изготавливает **специальную конфигурацию** составного ферритового сердечника ST 90/40/30- 3C90, представляющего из себя ферритовый кольцевой сердечник R90*40*30, **образованный из 8 сегментов**. Кольцо собранное из таких сегментов, благодаря наличию нескольких сосредоточенных зазоров обладает рядом преимуществ и может стать недорогим решением при намотке силовых накопительных дросселей для высокоточных цепей.

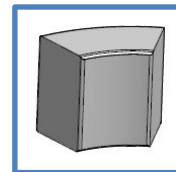
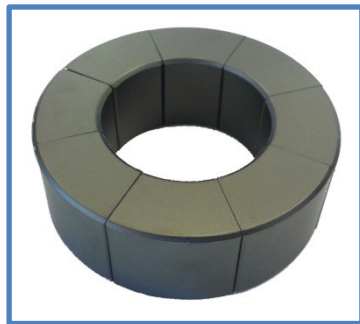
Восемь воздушных зазоров позволяют значительно снизить величину эквивалентной проницаемости. При этом краевой магнитный поток в нескольких небольших зазорах оказывается меньше по сравнению с одним большим зазором, что делает применение такого сердечника более эффективным.





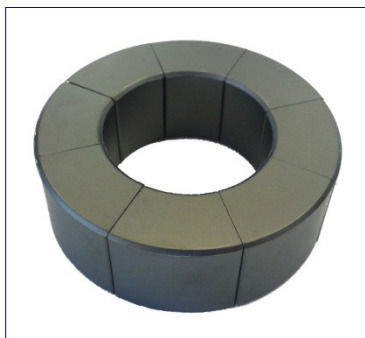
Специальная конфигурация составного ферритового сердечника

Сегментные кольца из силового материала, типа [3С90](#), подойдут для нужд силовой электроники, в качестве сердечников трансформаторов сварочных аппаратов. Сегментное составное кольцо **может стать оптимальным решением для дросселей** фильтров питания, работающих при большом уровне токов подмагничивания, инверторов систем бесперебойного питания и выходных фильтров. Сегментный сердечник может работать как при большой постоянной составляющей тока, так и при амплитудных токах в синусных переключателях.





Специальная конфигурация составного ферритового сердечника



Обозначение в конструкторской документации


ST 90/40/30 - 3C90

ST — конфигурация сердечника (segment toroid)


90/40/30 — размер сердечника (внешний, внутренний диаметры и высота кольца в мм)

3C90 — марка ферритового материала


Фирмы-изготовители

Товарный знак	Краткая характеристика
 The logo for EPCOS, featuring a stylized blue and green wave-like shape above the word "EPCOS" in a bold, black, sans-serif font, all contained within a thin blue square border.	<p>Фирма Epcos AG (Германия) является одним из мировых лидеров в области производства современных силовых и сигнальных ферритовых материалов и выпускает 15 стандартных конфигураций общим количеством более 2500 наименований ферритовых сердечников и намоточных аксессуаров.</p>





Фирмы-изготовители

Товарный знак	Краткая характеристика
 The logo for Magnetics, featuring the word "MAGNETICS" in a bold, black, sans-serif font. Above the text are four thick, red, slanted parallel bars. A small registered trademark symbol (®) is located to the right of the text.	<p>Фирма Magnetics является крупнейшим мировым производителем прецизионных, с высокой магнитной проницаемостью электромагнитных компонентов и материалов для электронной промышленности.</p> <p>Компания специализируется в исследованиях, разработках и производстве широкого ряда высококачественных электромагнитных сердечников, применяемых в производстве дросселей, катушек индуктивности, фильтров, трансформаторов и компонентов силовой электроники для использования в телекоммуникациях, аэрокосмическом и военном приборостроении, компьютерной и медицинской технике и в ряде других отраслей.</p> <p>Вся продукция Magnetics проходит 100% контроль качества, от сырья до готовых компонентов. Полностью собственное производство в сочетании с тотальным контролем качества дают твердую гарантию потребителю в надежной работе продуктов Magnetics.</p>

Фирмы-изготовители

Товарный знак	Краткая характеристика
	<p>Компания Ferroxcube является одним из мировых лидеров в области производства магнитомягких ферритовых материалов и сердечников на их основе, с производственными базами, офисами продаж и центрами обслуживания заказчиков по всему миру. Поставки на европейский рынок производятся с фабрики, расположенной на территории Польши.</p> <p>Компания Ferroxcube изготавливает широкий спектр ферритовых сердечников различных конфигураций и типоразмеров из марганец-цинковых и никель-цинковых ферритовых материалов.</p>


Фирмы-изготовители

Товарный знак	Краткая характеристика
<p data-bbox="162 411 562 682">Группа компаний «Северо-Западная Лаборатория»</p>    	<p data-bbox="633 411 1769 575">Группа компаний «Северо-Западная Лаборатория» занимает первое место в России и СНГ по объему поставок и предлагаемому складскому ассортименту магнитомягких ферритовых и порошковых материалов.</p> <p data-bbox="633 582 1170 618">Основные линии поставок:</p> <p data-bbox="633 625 1789 746">EPCOS (Германия) — Ферритовые сердечники, каркасы и скобы. Пассивные компоненты (конденсаторы, варисторы, термисторы, разрядники, индуктивные компоненты, ПАВ компоненты).</p> <p data-bbox="633 753 1628 868">Magnetics (США) — Порошковые сердечники с высокой индукцией насыщения (MPP, High Flux, XFlux, Kool Mμ), сердечники Strip Wound cores.</p> <p data-bbox="633 875 1657 996">TDK (Япония) — Ферритовые сердечники, индуктивные компоненты, керамические конденсаторы, материалы для безэховых камер</p> <p data-bbox="633 1003 1522 1039">Ferroxcube (Польша) — Ферритовые сердечники.</p> <p data-bbox="633 1046 1667 1125">Magnetec (Германия) — Нанокристаллические кольцевые сердечники из материала Nanoperm®.</p>


Фирмы-изготовители

Товарный знак	Краткая характеристика
	<p>Vishay Intertechnology является одним из крупнейших в мире производителей дискретных полупроводников и пассивных электронных компонентов, в том числе диодов, транзисторов, оптико-электронных продуктов, интегральных схем (ИС), резисторов, катушек индуктивности и конденсаторов. Компания располагает заводами в шестнадцати странах, с общим числом служащих более чем 25 000 человек.</p>


Фирмы-изготовители

Товарный знак	Краткая характеристика
	<p>Компания TALEMA основана в 1975г. в городе Мюнхен (Германия), имеет производство в Индии, офисы продаж в Ирландии и США.</p> <p>В начале 1992 года TALEMA Group основала производство в Чешской республике, что привело к созданию в 2002 году компании NT Magnetics, которая стала основным заводом-изготовителем компонентов торговой марки TALEMA для всей Европы.</p> <p>Компания NT Magnetics специализируется на изготовлении тороидальных трансформаторов и магнитных элементов на тороидальных сердечниках торговой марки TALEMA.</p>


Фирмы-изготовители

Товарный знак	Краткая характеристика
	<p>Premo Corporation известна на рынке с 1962 года. Компания начинала с выпуска телевизоров и индуктивных компонентов, используемых в телевизионной технике. Через восемь лет Premo полностью сосредоточилась на выпуске индуктивных компонентов и переориентировала бизнес на выпуск высококачественных продуктов для экспорта. В 2001 году Premo становится интернациональной компанией, с центральным офисом в Барселоне, заводами и исследовательскими центрами в Испании, Франции, Марокко и Китае. Компания осознает необходимость развития технологий и выделяет на исследования и новые разработки 10% бюджета. В октябре 2010 года закончена реконструкция фабрики в Китае, что позволило расширить производственные площади до 8000 м² и подготовиться к увеличению объема выпускаемой продукции для удовлетворения возрастающего мирового спроса на индуктивные компоненты.</p>

Фирмы-изготовители

Товарный знак	Краткая характеристика
 The logo for TDK, featuring a stylized geometric symbol on the left and the letters 'TDK' in a bold, blue, sans-serif font on the right.	<p>Название произошло из исходного японского названия компании Tokyo Denki Kagaku (Tokyo Electronics and Chemicals). Первым инновационным продуктом TDK на рынке стал магнитомягкий ферритовый материал под названием «оксидные кольца» для использования при изготовлении трансформаторов и катушек индуктивности. Уже с начала своей истории развития, приоритетом для TDK стали новые, инновационные разработки в области улучшения потребительских свойств ферритовых материалов и поиск новых областей их практического применения в электронной технике. В настоящее время компания является одним из крупнейших в мире производителей электронных компонентов с более чем 130 офисами и заводами в более чем в 30 странах по всему миру.</p>

Фирмы-изготовители

Товарный знак	Краткая характеристика
 The logo consists of the word "GAMMAMET" in a bold, blue, sans-serif font, enclosed within a thin blue rectangular border. A small registered trademark symbol (®) is located at the top right of the word.	<p>НПП "ГАММАМЕТ" (Россия) производит аморфные и нанокристаллические сплавы.</p> <p>Основные виды деятельности: производство аморфной и нанокристаллической ленты из магнитомягких сплавов; производство кольцевых, прямоугольных, разрезных, стержневых магнитопроводов из аморфных и нанокристаллических сплавов под торговой маркой ГАММАМЕТ; производство измерительных трансформаторов тока и напряжения, силовых, импульсных, согласующих, накопительных трансформаторов, реакторов различного назначения, работающих при частоте до 200 кГц, изготовленных на базе аморфных и нанокристаллических сплавов собственного производства под торговой маркой ГАММАТРАНС.</p>


Фирмы-изготовители

Товарный знак	Краткая характеристика
Открытое акционерное общество «Ферроприбор » (Россия)	<p>Разработка и производство трансформаторов, дросселей и других индуктивных изделий на ферритах собственного изготовления, а также по техническому заданию заказчика на импортных магнитопроводах. Применение импортных высокотехнологических станков для тороидальной и рядовой намотки обеспечивает высокое качество и надежность продукции. При изготовлении трансформаторов и дросселей производится 100% контроль электромагнитных параметров, а так же предусмотрены такие операции как:</p> <ul style="list-style-type: none">- Пропитка лаком или компаундом методом окунания- Вакуумная пропитка лаком или компаундом- Контроль сопротивления изоляции- Контроль электрической прочности

Фирмы-изготовители

Товарный знак	Краткая характеристика
	<p>Компания Cosmo Ferrites Ltd. создана в 1986 году, имеет хорошо оборудованный научно-исследовательский центр, находящийся на балансе предприятия, является одним из ведущих производителей и экспортером магнитомягких ферритов.</p> <p>Компания COSMO FERRITES LIMITED держит лидирующую позицию по производству ферритов на рынке Индии, в 1988 году первой начала экспортировать свою продукцию и на данный момент остается лидирующей компанией на индийском рынке по объемам экспорта в данной отрасли. Более 50% продукции экспортируется в Соединенные Штаты Америки, Восточную Европу и в страны Дальнего Востока.</p> <p>Уровень качества производимой продукции одобрен Международной Электротехнической Комиссией (International Electro Technical Commission (IEC)), Женева. В 1990 году компания получила сертификат IECQ на свою продукцию. COSMO FERRITES LIMITED была первой в Индии из фирм производителей ферритовых изделий, получившей в 1993 году сертификат соответствия продукции согласно требованиям ISO 9002.</p>

Фирмы-изготовители

Товарный знак	Краткая характеристика
	<p>Hical – образец успешной компании из Индии, самостоятельно разрабатывающей и производящей импульсные трансформаторы для источников питания, коммуникаций, автоматики.</p> <p>Организованная в 1988 году, Hical в настоящее время является первой компанией в Индии по экспорту электронных компонентов. Hical имеет самое лучшее в мире соотношение цена-качество в сфере производства трансформаторов для импульсных источников питания. Hical производит не только трансформаторы для источников питания, но и сами источники питания, которые также занимают значительную долю экспорта.</p> <p>Hical сегодня – это уже международная компания, имеющая собственный офис и дизайнерский центр в США – центре развития мировой электроники.</p>

Медные эмалированные провода.

Стандартные отечественные медные эмалированные провода круглого сечения.



Медный провод с однослойной эмалевой изоляцией:

- 1 - медная проволока
- 2 - слой изоляции



Медный провод с двухслойной эмалевой изоляцией:

- 1 - медная проволока
- 2 - первый слой изоляции
- 3 - второй слой изоляции

Медные эмалированные провода.

Стандартные отечественные медные эмалированные провода круглого сечения. Основные марки проводов.

Медные эмалированные провода общего применения				
Марка провода	Описание	Режим эксплуатации провода	Свойства изоляции	Диапазон диаметров медной жилы, мм
ПЭТВ-1	Провод эмалированный, теплостойкий, покрытый слоем высокопрочной полиэфирной эмали. Толщина изоляции по типу 1.	Температурный индекс ТИ-130. Минимальная температура окружающей среды минус 60°C. Допускается эксплуатация проводов при температуре до +200°C.	Изоляция проводов устойчива: <ul style="list-style-type: none">• для марки ПЭТВ-1 к продавливанию при температуре 180 ± 5°C• для марки ПЭТВ-2 к продавливанию при температуре 200 ± 5°C• к воздействию теплового удара при температуре 155 ± 5°C• к воздействию кипящей воды• к воздействию толуола при температуре 60 ± 3°C	0,050 - 1,600
ПЭТВ-2	Провод эмалированный, теплостойкий, покрытый слоем высокопрочной полиэфирной эмали. Толщина изоляции по типу 2.			0,060 - 2,500

Медные эмалированные провода.

Стандартные отечественные медные эмалированные провода круглого сечения. Основные марки проводов.

Медные эмалированные провода общего применения				
Марка провода	Описание	Режим эксплуатации провода	Свойства изоляции	Диапазон диаметров медной жилы, мм
ПЭТ-155	Провод с эмалевой изоляцией на основе модифицированного полиэфира.	Температурный индекс ТИ-155. Минимальная температура окружающей среды - 60°C.	Изоляция провода устойчива: <ul style="list-style-type: none">• к продавливанию при температуре $240 \pm 5^\circ\text{C}$.• к воздействию теплового удара при температуре $200 \pm 5^\circ\text{C}$.	0,060 - 2,500
ПЭТ-180	Провод с эмалевой изоляцией на основе модифицированного полиэфира.	Температурный индекс ТИ-180. Минимальная температура окружающей среды - 60°C.		0,060 - 2,500

Медные эмалированные провода.

Стандартные отечественные медные эмалированные провода круглого сечения. Основные марки проводов.

Медные эмалированные провода общего применения				
Марка провода	Описание	Режим эксплуатации провода	Свойства изоляции	Диапазон диаметров медной жилы, мм
ПЭТ-200-1	Провод с эмалевой изоляцией на основе полиамидимида, теплостойкий. Толщина изоляции по типу 1.	Температурный индекс ТИ-200. Минимальная температура окружающей среды минус 60°С.	Изоляция провода устойчива: <ul style="list-style-type: none">• к продавливанию при температуре $320 \pm 5^\circ\text{C}$,• к воздействию теплового удара при температуре 220 - 225°С,• к воздействию толуола при температуре $60 \pm 3^\circ\text{C}$.	0,050 - 2,500
ПЭТ-200-2	Провод с эмалевой изоляцией на основе полиамидимида, теплостойкий. Толщина изоляции по типу 2.			0,050 - 2,500

Медные эмалированные провода.

Стандартные отечественные медные эмалированные провода круглого сечения. Основные марки проводов.

Медные эмалированные провода общего применения				
Марка провода	Описание	Режим эксплуатации провода	Свойства изоляции	Диапазон диаметров медной жилы, мм
ПЭТД-180	Провод эмалированный, с двухслойной изоляцией: 1 слой -полиэфиримидная, 2 слой - полиамидимидная.	Температурный индекс ТИ-180. Минимальная температура окружающей среды минус 60°С.		0,20 - 0,63
ПЭТД-200 -1 ПЭТД-200 -2	Провод эмалированный, с двухслойной изоляцией: 1 слой -полиэфиримидная, 2 слой - полиамидимидная. Толщина изоляции по типу 1 (для ПЭТД-200-2 по типу 2).	Температурный индекс ТИ-200. Минимальная температура окружающей среды минус 60°С.		

Медные эмалированные провода.

Стандартные отечественные медные эмалированные провода круглого сечения. Основные марки проводов.

Медные эмалированные провода общего применения				
Марка провода	Описание	Режим эксплуатации провода	Свойства изоляции	Диапазон диаметров медной жилы, мм
ПЭВТЛ-1	Провод высокопрочный лудящийся, эмалированный полиуретановым лаком. Толщина изоляции по типу 1.	Температурный индекс ТИ-120. Минимальная температура окружающей среды минус 60°C. Провода применяются без	Изоляция провода устойчива: <ul style="list-style-type: none">• к продавливанию при температуре $170 \pm 5^\circ\text{C}$,• к воздействию теплового удара при температуре 155 - 160°C,• к воздействию кипящей воды.	0,032 - 1,600
ПЭВТЛ-2	Провод высокопрочный лудящийся, эмалированный полиуретановым лаком. Толщина изоляции по типу 2.	предварительного удаления изоляции при температуре $375 \pm 5^\circ\text{C}$.		0,032 - 1,600

Медные эмалированные провода.

Стандартные отечественные медные эмалированные провода круглого сечения. Основные размеры проводов.

Характеристики медного провода				Изоляция по типу 1		Изоляция по типу 2	
Ном. диаметр медной проволоки	Допустимые отклонения от номинала	Площадь сечения жилы	Удельная масса жилы	Мин. удвоенная толщина изоляционного слоя	Макс. наружный диаметр провода в изоляции	Мин. удвоенная толщина изоляционного слоя	Макс. наружный диаметр провода в изоляции
мм	мм	мм ²	кг/1км	мм	мм	мм	мм
0,063	-	0,0031 1	0,0277	0,006	0,076	0,012	0,083
0,071	0,003	0,0039 5	0,0352	0,007	0,084	0,012	0,091
0,080	0,003	0,0050 2	0,0447	0,007	0,094	0,014	0,101
0,090	0,003	0,0063 6	0,0566	0,008	0,105	0,015	0,113
0,100	0,003	0,0078 5	0,0698	0,008	0,117	0,016	0,125
0,106	0,003	0,0088 2	0,0785	0,009	0,123	0,017	0,132

Медные эмалированные провода.

Стандартные отечественные медные эмалированные провода круглого сечения. Основные размеры проводов.

Характеристики медного провода				Изоляция по типу 1		Изоляция по типу 2	
Ном. диаметр медной проволоки	Допустимые отклонения от номинала	Площадь сечения жилы	Удельная масса жилы	Мин. удвоенная толщина изоляционного слоя	Макс. наружный диаметр провода в изоляции	Мин. удвоенная толщина изоляционного слоя	Макс. наружный диаметр провода в изоляции
мм	мм	мм ²	кг/1км	мм	мм	мм	мм
0,140	0,003	0,01539	0,1369	0,011	0,1369	0,021	0,171
0,150	0,003	0,01767	0,1571	0,012	0,1571	0,023	0,182
0,160	0,003	0,02011	0,1787	0,012	0,1787	0,023	0,194
0,170	0,003	0,02370	0,2018	0,013	0,2018	0,025	0,205
0,180	0,003	0,02545	0,2262	0,013	0,2262	0,025	0,207
0,190	0,003	0,02835	0,2521	0,014	0,2521	0,027	0,228

Медные эмалированные провода.

Стандартные отечественные медные эмалированные провода круглого сечения. Основные размеры проводов.

Характеристики медного провода				Изоляция по типу 1		Изоляция по типу 2	
Ном. диаметр медной проволоки	Допустимые отклонения от номинала	Площадь сечения жилы	Удельная масса жилы	Мин. удвоенная толщина изоляционного слоя	Макс. наружный диаметр провода в изоляции	Мин. удвоенная толщина изоляционного слоя	Макс. наружный диаметр провода в изоляции
мм	мм	мм ²	кг/1км	мм	мм	мм	мм
0,250	0,004	0,04909	0,4364	0,017	0,281	0,032	0,297
0,265	0,004	0,05515	0,4903	0,018	0,297	0,033	0,314
0,280	0,004	0,06158	0,5474	0,018	0,312	0,033	0,329
0,300	0,004	0,07069	0,6284	0,019	0,334	0,035	0,352
0,315	0,004	0,07793	0,6929	0,019	0,349	0,035	0,367
0,335	0,004	0,08814	0,7836	0,020	0,372	0,038	0,391

Медные эмалированные провода.

Стандартные отечественные медные эмалированные провода круглого сечения. Основные размеры проводов.

Характеристики медного провода				Изоляция по типу 1		Изоляция по типу 2	
Ном. диаметр медной проволоки	Допустимые отклонения от номинала	Площадь сечения жилы	Удельная масса жилы	Мин. удвоенная толщина изоляционного слоя	Макс. наружный диаметр провода в изоляции	Мин. удвоенная толщина изоляционного слоя	Макс. наружный диаметр провода в изоляции
мм	мм	мм ²	кг/1км	мм	мм	мм	мм
0,450	0,005	0,1590	1,414	0,022	0,491	0,042	0,513
0,475	0,005	0,1772	1,575	0,024	0,519	0,045	0,541
0,50	0,005	0,1963	1,767	0,024	0,544	0,045	0,566
0,53	0,006	0,2203	1,961	0,025	0,576	0,047	0,600
0,56	0,006	0,2464	2,190	0,025	0,606	0,047	0,630
0,60	0,006	0,2827	2,514	0,027	0,649	0,050	0,674
0,63	0,006	0,3117	2,771	0,027	0,679	0,050	0,704
0,67	0,007	0,3526	3,134	0,028	0,722	0,053	0,749
0,71	0,007	0,3959	3,520	0,028	0,762	0,053	0,789
0,75	0,008	0,4418	3,927	0,030	0,805	0,056	0,834

Медные эмалированные провода.

Стандартные отечественные медные эмалированные провода круглого сечения. Основные размеры проводов.

Характеристики медного провода				Изоляция по типу 1		Изоляция по типу 2	
Ном. диаметр медной проволоки	Допустимые отклонения от номинала	Площадь сечения жилы	Удельная масса жилы	Мин. удвоенная толщина изоляционного слоя	Макс. наружный диаметр провода в изоляции	Мин. удвоенная толщина изоляционного слоя	Макс. наружный диаметр провода в изоляции
мм	мм	мм ²	кг/1км	мм	мм	мм	мм
0,80	0,008	0,5027	4,469	0,030	0,855	0,056	0,884
0,85	0,009	0,5675	5,045	0,032	0,909	0,060	0,939
0,90	0,009	0,6362	5,656	0,032	0,959	0,060	0,989
0,95	0,010	0,7080	6,301	0,034	1,012	0,063	1,044
1,00	0,010	0,7854	6,982	0,034	1,062	0,063	1,094
1,06	0,011	0,8825	7,845	0,034	1,124	0,065	1,157
1,12	0,011	0,9852	8,758	0,034	1,184	0,065	1,217
1,18	0,012	1,0940	9,722	0,035	1,246	0,067	1,279
1,25	0,013	1,227	10,91	0,035	1,316	0,067	1,349
1,32	0,013	1,360	12,17	0,036	1,388	0,069	1,422

Медные эмалированные провода.

Стандартные отечественные медные эмалированные провода круглого сечения. Основные размеры проводов.

Характеристики медного провода				Изоляция по типу 1		Изоляция по типу 2	
Ном. диаметр медной проволоки	Допустимое отклонение от номинала	Площадь сечения жилы	Удельная масса жилы	Мин. удвоенная толщина изоляционного слоя	Макс. наружный диаметр провода в изоляции	Мин. удвоенная толщина изоляционного слоя	Макс. наружный диаметр провода в изоляции
мм	мм	мм ²	кг/1км	мм	мм	мм	мм
1,40	0,014	1,539	13,69	0,036	1,468	0,069	1,502
1,50	0,015	1,767	15,71	0,038	1,570	0,071	1,606
1,60	0,016	2,011	17,87	0,038	1,670	0,071	1,706
1,70	0,017	2,270	20,18	0,039	1,772	0,073	1,809
1,80	0,018	2,545	22,62	0,039	1,872	0,073	1,909
1,90	0,019	2,835	25,21	0,040	1,974	0,075	2,012
2,00	0,020	3,142	27,93	0,040	2,074	0,075	2,112
2,12	0,021	3,530	31,38	0,041	2,196	0,077	2,235
2,24	0,022	3,941	35,03	0,041	2,316	0,077	2,355
2,36	0,024	4,374	38,89	0,042	2,438	0,079	2,478
2,50	0,025	4,909	43,64	0,042	2,578	0,079	2,618

Медные эмалированные провода.

Стандартные медные провода по системе AWG (американский калибр проводов). Основные размеры проводов.

Американский калибр проводов (AWG от англ. *American Wire Gauge*) — американская система маркирования толщины проводов, используемая с 1857 года преимущественно в США.

В этой системе меньшему числовому значению соответствует более толстый провод. Такое «перевёрнутое» обозначение диаметра сложилось исторически: проволоку изготавливают волочением, и номер (калибр) обозначает количество последовательных протягиваний через всё уменьшающиеся отверстия в волоке до получения нужного диаметра. Так, для получения проволоки AWG 24 диаметром около 0,5 мм заготовка AWG 0 диаметром свыше 8 мм протягивалась 24 раза. В калибрах AWG довольно часто обозначают не только размеры (диаметр, сечение) проводов, но и размеры прутков, стержней, трубок.

Медные эмалированные провода.

Стандартные медные провода по системе AWG (американский калибр проводов). Основные размеры проводов.

Многие программы расчёта электромагнитных и конструктивных параметров магнитных элементов электронных устройств **ориентированы на американский стандарт проводов**. На практике удобно иметь возможность сопоставлять размеры проводов в стандарте AWG и по отечественным стандартам.

В таблице «Сопоставление эксплуатационных характеристик **медных проводов**» приводится примерное сопоставление размеров проводов по двум системам. Для крупных размеров AWG в таблице предложены примерные варианты скрутки отечественных стандартных проводов.

Медные эмалированные провода.

Стандартные медные провода по системе AWG (американский калибр проводов). Основные размеры проводов.

Сопоставление эксплуатационных характеристик медных проводов					
Американская калибровка проводов (AWG)				Отечественные стандартные провода	
AWG	Номинальный диаметр медной проволоки	Номинальный диаметр медной проволоки	Площадь сечения проволоки	Номинальный диаметр медной проволоки	Площадь сечения проволоки
#	ДЮЙМЫ	ММ	ММ²	ММ	ММ²
-		-	-	0,063	0,00311
-		-	-	0,071	0,00395
40	0,00314	0,080	0,00501	0,080	0,00502
39	0,00353	0,090	0,00632	0,090	0,00636
38	0,00397	0,101	0,00797	0,100	0,00785
				0,106	0,00882
37	0,00445	0,113	0,01000	0,112	0,00985
				0,118	0,01094
36	0,00500	0,127	0,01270	0,125	0,01227
				0,132	0,01368

Медные эмалированные провода.

Стандартные медные провода по системе AWG (американский калибр проводов). Основные размеры проводов.

Сопоставление эксплуатационных характеристик медных проводов					
Американская калибровка проводов (AWG)				Отечественные стандартные провода	
AWG	Номинальный диаметр медной проволоки	Номинальный диаметр медной проволоки	Площадь сечения проволоки	Номинальный диаметр медной проволоки	Площадь сечения проволоки
#	ДЮЙМЫ	ММ	ММ²	ММ	ММ²
35	0,00561	0,143	0,01600	0,014	0,01539
				0,015	0,01767
34	0,00630	0,160	0,02010	0,160	0,02011
				0,170	0,02370
33	0,00708	0,180	0,02540	0,180	0,02545
				0,190	0,02835
32	0,00795	0,202	0,03200	0,200	0,03142
				0,212	0,03530
31	0,00893	0,227	0,04040	0,224	0,03941
				0,236	0,04374

Медные эмалированные провода.

Стандартные медные провода по системе AWG (американский калибр проводов). Основные размеры проводов.

Сопоставление эксплуатационных характеристик медных проводов					
Американская калибровка проводов (AWG)				Отечественные стандартные провода	
AWG	Номинальный диаметр медной проволоки	Номинальный диаметр медной проволоки	Площадь сечения проволоки	Номинальный диаметр медной проволоки	Площадь сечения проволоки
#	ДЮЙМЫ	ММ	ММ²	ММ	ММ²
30	0,0100	0,255	0,0509	0,250	0,04909
				0,265	0,05515
29	0,0113	0,286	0,0642	0,280	0,06158
				0,300	0,07069
28	0,0126	0,321	0,0810	0,315	0,07793
				0,335	0,08814
27	0,0142	0,361	0,1020	0,355	0,09898
				0,375	0,11040
26	0,0159	0,405	0,1290	0,400	0,1257
				0,425	0,1419

Медные эмалированные провода.

Стандартные медные провода по системе AWG (американский калибр проводов). Основные размеры проводов.

Сопоставление эксплуатационных характеристик медных проводов					
Американская калибровка проводов (AWG)				Отечественные стандартные провода	
AWG	Номинальный диаметр медной проволоки	Номинальный диаметр медной проволоки	Площадь сечения проволоки	Номинальный диаметр медной проволоки	Площадь сечения проволоки
#	ДЮЙМЫ	ММ	ММ²	ММ	ММ²
25	0,0179	0,455	0,1620	0,450	0,1590
				0,475	0,1772
24	0,0201	0,511	0,2050	0,50	0,1963
				0,53	0,2203
23	0,0226	0,573	0,2580	0,56	0,2463
				0,60	0,2827
22	0,0253	0,644	0,3260	0,63	0,3117
				0,67	0,3526
21	0,0285	0,723	0,4100	0,71	0,3959
				0,75	0,4418

Медные эмалированные провода.

Стандартные медные провода по системе AWG (американский калибр проводов). Основные размеры проводов.

Сопоставление эксплуатационных характеристик медных проводов					
Американская калибровка проводов (AWG)				Отечественные стандартные провода	
AWG	Номинальный диаметр медной проволоки	Номинальный диаметр медной проволоки	Площадь сечения проволоки	Номинальный диаметр медной проволоки	Площадь сечения проволоки
#	ДЮЙМЫ	ММ	ММ²	ММ	ММ²
20	0,0320	0,812	0,518	0,80	0,5027
				0,85	0,5675
19	0,0359	0,912	0,653	0,90	0,6362
				0,95	0,7080
18	0,0403	1,024	0,823	1,00	0,7854
				1,06	0,8825
17	0,0453	1,150	1,040	1,12	0,9852
				1,18	1,0940
16	0,0508	1,291	1,310	1,25	1,227
				1,32	1,360

Медные эмалированные провода.

Стандартные медные провода по системе AWG (американский калибр проводов). Основные размеры проводов.

Сопоставление эксплуатационных характеристик медных проводов					
Американская калибровка проводов (AWG)				Отечественные стандартные провода	
AWG	Номинальный диаметр медной проволоки	Номинальный диаметр медной проволоки	Площадь сечения проволоки	Номинальный диаметр медной проволоки	Площадь сечения проволоки
#	ДЮЙМЫ	ММ	ММ²	ММ	ММ²
15	0,0571	1,450	1,650	1,40	1,539
				1,50	1,767
14	0,0641	1,628	2,080	1,60	2,011
				1,70	2,270
13	0,0720	1,828	2,620	1,80	2,545
				1,90	2,835
12	0,0808	2,053	3,310	2,00	3,142
				2,12	3,530
11	0,0907	2,305	4,170	2,24	3,941
				2,36	4,374

Медные эмалированные провода.

Стандартные медные провода по системе AWG (американский калибр проводов). Основные размеры проводов.

Сопоставление эксплуатационных характеристик медных проводов					
Американская калибровка проводов (AWG)				Отечественные стандартные провода	
AWG	Номинальный диаметр медной проволоки	Номинальный диаметр медной проволоки	Площадь сечения проволоки	Номинальный диаметр медной проволоки	Площадь сечения проволоки
#	ДЮЙМЫ	ММ	ММ²	ММ	ММ²
10	0,1019	2,588	5,26	2,50	4,909
				27×0,50	5,300
9	0,1144	2,906	6,63	6×1,18	6,56
				34×0,50	6,67
8	0,1285	3,264	8,37	6×1,32	8,16
				43×0,50	8,44
7	0,1443	3,665	10,50	6×1,50	10,60
				54×0,50	10,60
6	0,1620	4,115	13,30	12×1,18	13,13
				68×0,50	13,35

Медные эмалированные провода.

Стандартные медные провода по системе AWG (американский калибр проводов). Основные размеры проводов.

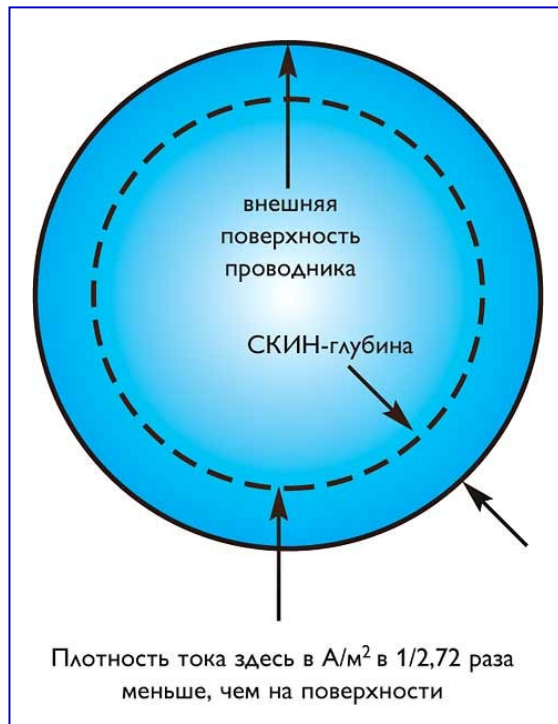
Сопоставление эксплуатационных характеристик медных проводов					
Американская калибровка проводов (AWG)				Отечественные стандартные провода	
AWG	Номинальный диаметр медной проволоки	Номинальный диаметр медной проволоки	Площадь сечения проволоки	Номинальный диаметр медной проволоки	Площадь сечения проволоки
#	ДЮЙМЫ	ММ	ММ²	ММ	ММ²
5	0,1819	4,621	16,18	12×1,32	16,32
				86×0,50	16,88
4	0,2043	5,189	21,20	12×1,50	21,20
				108×0,50	21,20
3	0,2294	5,827	26,70	24×1,18	26,26
				136×0,50	26,70
2	0,2576	6,544	33,60	24×1,32	32,64
				172×0,50	33,76
1	0,2893	7,348	42,40	24×1,50	42,41
				216×0,50	42,40

Высокочастотные эффекты в проводах обмоток магнитных элементов

При протекании по проводнику тока высокой частоты наблюдается неравномерное распределение плотности тока по сечению проводника: плотность тока максимальна на поверхности проводника и убывает по мере проникновения вглубь проводника. Это явление называется **скин-эффектом** или **поверхностным эффектом**.

Для борьбы со скин-эффектом применяют проводники различного сечения: **плоские** (в виде лент), **трубчатые** (полые внутри), **наносят на поверхность проводника слой металла** с более низким удельным сопротивлением. Также с целью подавления скин-эффекта используют провод типа «**литцендрат**» (высокочастотный обмоточный провод).


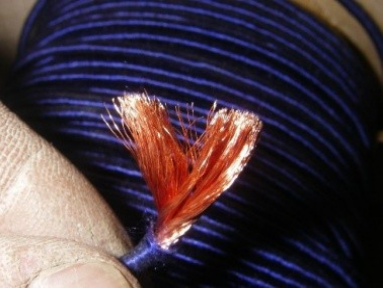
Высокочастотные эффекты в проводах обмоток магнитных элементов



Физический смысл глубины скин-слоя – это расстояние, на котором плотность тока уменьшается в 2,72 раза по отношению к значению на поверхности.

Медные высокочастотные провода.

Стандартные марки отечественных высокочастотных проводов.

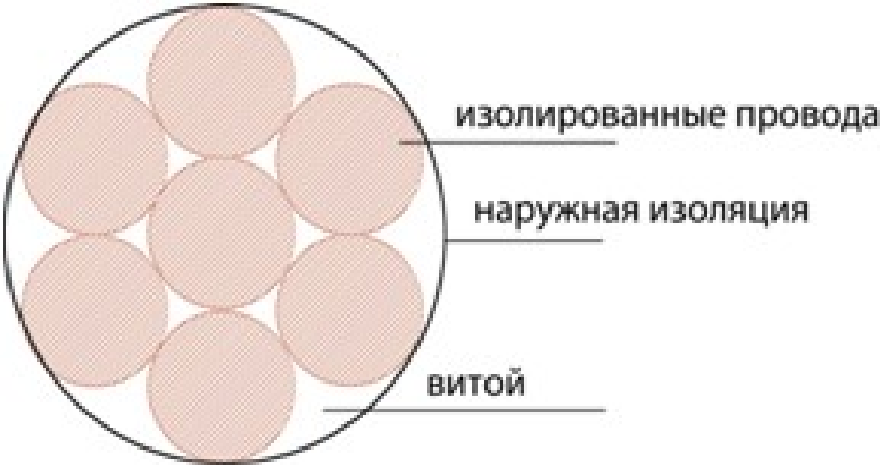

Марка провода	Описание	Режим эксплуатации провода	Внутренний проводник
<p>ЛЭП</p> 	<p>Провод круглого сечения с жилой, скрученной из медных проволок, изолированных лаком на полиуретановой основе</p>	<p>Температурный индекс 120°С</p>	<p>Эмалированный провод марки ПЭВТЛ-2 (самолудящийся)</p> <p>.</p>
<p>ЛЭШО</p> 	<p>Провод круглого сечения с жилой, скрученной из медных проволок, изолированных лаком на полиуретановой основе, с однослойной обмоткой из натурального шелка</p>	<p>Температурный индекс 105°С</p>	<p>Эмалированный провод марки ПЭВТЛ-1 (самолудящийся)</p> <p>.</p>

Медные высокочастотные провода.

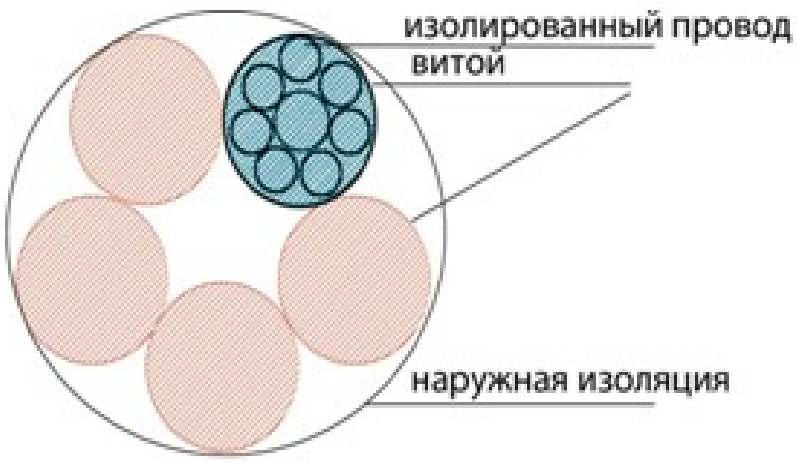

Стандартные марки отечественных высокочастотных проводов.

Марка провода	Описание	Режим эксплуатации провода	Внутренний проводник
<p>ЛЭПШ</p> 	<p>Провод круглого сечения с жилой, скрученной из медных проволок, изолированных лаком на полиуретановой основе, с двухслойной обмоткой из натурального шелка</p>	<p>Температурный индекс 120°С</p>	<p>Эмалированный провод марки ПЭВТЛ-1 (самолудящийся)</p>
<p>ЛЭПКО</p> 	<p>Провод круглого сечения с жилой, скрученной из медных проволок, изолированных лаком на полиуретановой основе, с однослойной обмоткой из капроновых нитей</p>	<p>Температурный индекс 120°С</p>	<p>Эмалированный провод марки ПЭВТЛ-1 (самолудящийся)</p>

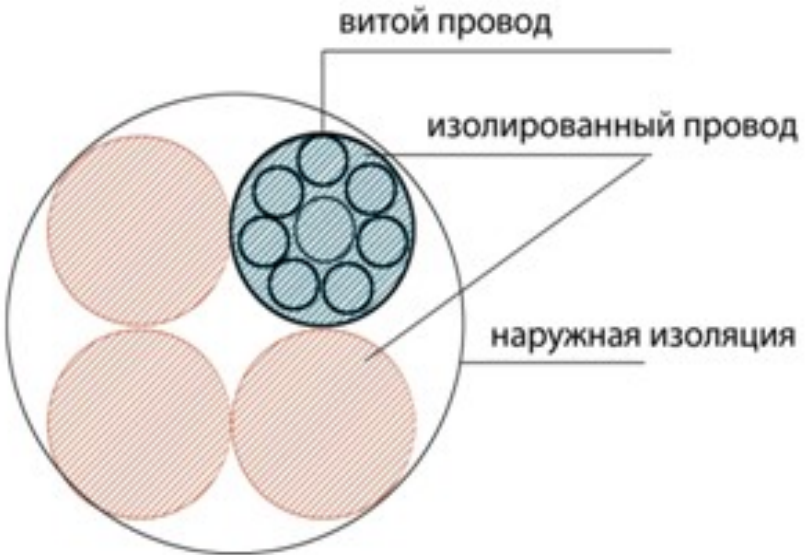

Конструкции высокочастотных проводов

Конструкция	Внешний вид
 <p>изолированные провода</p> <p>наружная изоляция</p> <p>ВИТОЙ</p>	

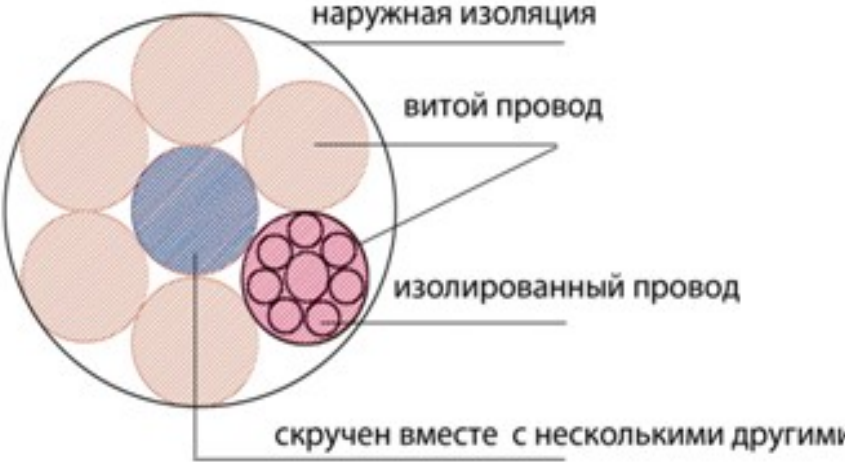

Конструкции высокочастотных проводов

Конструкция	Внешний вид
 <p>изолированный провод витой</p> <p>наружная изоляция</p>	

Конструкции высокочастотных проводов

Конструкция	Внешний вид
 <p>The diagram shows a cross-section of a high-frequency cable. It features three large red circles representing individual conductors and one central blue circle representing a twisted pair. The twisted pair is further detailed as a bundle of smaller blue circles. Labels with leader lines point to the twisted pair ('витой провод'), the central bundle ('изолированный провод'), and the outer boundary ('наружная изоляция').</p>	 <p>A photograph of a yellow high-frequency cable. The end of the cable is cut, revealing a green twisted pair of conductors and several other individual conductors. The yellow outer jacket is clearly visible.</p>

Конструкции высокочастотных проводов

Конструкция	Внешний вид
 <p>Diagram illustrating the cross-section of a high-frequency wire construction. The central conductor is labeled "скручен вместе с несколькими другими" (twisted together with several others). It is surrounded by an "изолированный провод" (insulated conductor). The entire assembly is encased in "витой провод" (twisted wire) and an outer "наружная изоляция" (outer insulation).</p>	 <p>Photograph showing the external appearance of a high-frequency wire, featuring a green outer insulation layer and a twisted copper conductor.</p>

Конструкции высокочастотных проводов

Конструкция	Внешний вид
 <p>наружная изоляция</p> <p>провод скрученный с группами</p> <p>изоляция</p> <p>изолированный провод</p> <p>более изолированный провод</p> <p>несколько групп витой</p> <p>изолирует около группы провод</p>	