



МАГНИТОМЯГКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОВРЕМЕННОЙ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Сегодня на российском рынке магнитомягких ферритовых материалов, предназначенных для силовой электроники, присутствует множество марок различных изготовителей. Большинству отечественных производителей РЭА сложно разобраться в их многообразии, так как представление о фирмах и предлагаемых ими изделиях формируется в основном по рекламным проспектам и каталогам, а также в результате посещения стендов фирм и их дилеров на российских и зарубежных электронных выставках. Специалисты ООО "Лэпкос" информируют отечественных изготовителей РЭА о новых магнитных материалах и изделиях, которые уже появились на российском рынке или появления которых можно ожидать в ближайшее время. По их мнению, эта информация поможет отечественным производителям выбрать наиболее перспективных поставщиков как с точки зрения качества материалов, так и с точки зрения соотношения "цена/качество" и логистики поставок.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РЫНКА

К 2008 году в России доминирующее положение заняли силовые ферритовые материалы фирмы Epcos (Германия), объем потребления которых отечественной промышленностью значительно превышает объем поставок всех других вместе взятых зарубежных производителей.

Также популярна продукция таких фирм, как Ferroxcube (Нидерланды), Cosmo (Индия), Samwha (Корея), Yeng-Tat (Тайвань), Асте (Тайвань) и "Феррокерам" (Украина). Кроме того, по нашим оценкам, в незначительных объемах присутствует продукция еще 10–15, в основном азиатских, поставщиков.

Российские ферритовые заводы продолжают занимать существенную нишу на отечественном рынке, однако из-за устаревшего оборудования и технологии постепенно сдают свои позиции зарубежным изготовителям. Следует от-

А.Куневич, к.ф.-м.н., А.Максимов,
maximov@ferrite.ru

метить, что материал M2500HMC7, выпускаемый заводом "Ферроприбор", не уступает по большинству своих характеристик материалу N87 Epcos. Но изделия из него значительно проигрывают в цене из-за высокой себестоимости, связанной с небольшими, по сравнению с зарубежными конкурентами, объемами производства. Так, по нашим оценкам, суммарный объем производства всех отечественных магнитомягких ферритовых материалов по тоннажу составляет менее 2% от объема производства фирмы Epcos.

В результате даже традиционные типы сердечников, которые в основном формировали отечественный рынок, постепенно вытесняются их импортными аналогами. Только за последние два года на российском рынке появились, например, полные аналоги отечественных типоразмеров Ш4×4, Ш4×8, Ш6×6, Ш10×10.

В чем же причина ситуации, сложившейся на отечественном рынке?

Малый объем рынка. Распад отечественной электронной промышленности и отсутствие отечественного производства бытовой техники, телевизионных приемников, источников питания, которое потребляет, по мировой статистике, основную часть силовых ферритовых материалов, резко уменьшил объем отечественного рынка. Теперь он составляет сотые доли процента от мирового и не представляет интереса для зарубежных изготовителей.

Мелкосерийность производства. Потребность большинства отечественных производителей не выходит за пределы нескольких тысяч ферритовых магнитопроводов различных типоразмеров в месяц. Это делает экономически нецелесообразной и даже невозможной (из-за малых объемов) прямую работу с зарубежными изготовителями, а также ограничивает номенклатуру изделий, в которых могут применяться эти материалы. Поэтому обычно потребители ориентируются на аналоги требуемых изделий, уже применяемые другими предприятиями и имеющиеся на складах дистрибьюторов.

Небольшие объемы внутреннего рынка и необходимость поддерживать большую номенклатуру резко снижа-

ет конкурентоспособность отечественных изготовителей. Причина – в большой себестоимости производства изделий в небольших, по сравнению с зарубежными конкурентами, количествах.

Сложности планирования производства. Отсутствие у большинства отечественных изготовителей РЭА постоянных гарантированных заказов на однотипную продукцию при необходимости быстро выполнять разнотипные разовые заказы (нужно изготавливать трансформаторы и дроссели на основе заказанных магнитопроводов) диктует требования минимизации сроков поставки комплектующих.

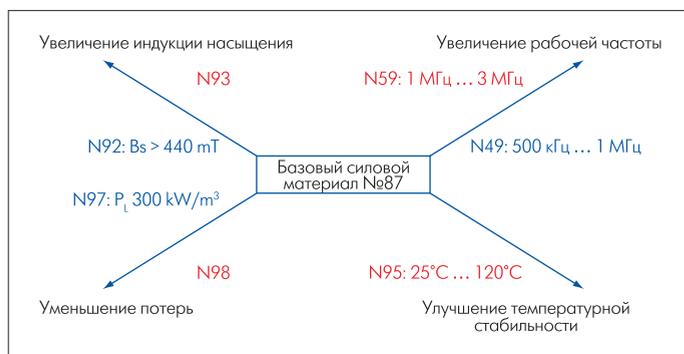
Среднестатистическое время поставки изделий по новым заказам складывается из времени, затраченного на производство (около шести недель), и времени доставки (около трех недель для продукции европейских поставщиков и около двух месяцев – для азиатских). Серьезное преимущество на рынке получают компании, способные поставлять изделия со склада в России. Так, поставки Epcos через склады своих представителей в России удовлетворяют до 90% текущих потребностей заказчиков.

Несмотря на более низкую себестоимость FOB CHINA, стоимость азиатских материалов на российском рынке практически не отличается от стоимости материалов Epcos, имеющих наилучшее соотношение "цена/качество", вследствие небольших объемов потребления и высокой стоимости доставки (в основном практикуется авиадоставка).

НОВЫЕ ФЕРРИТОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИХ РАЗРАБОТКИ

Силовые материалы общего применения, по параметрам аналогичные N27, N87 фирма Epcos, удовлетворяют потребностям не менее 85% отечественных изготовителей источников питания.

Сегодня ферритовые материалы типа N87 являются базовыми, и их выпуск освоен практически всеми производителями. Конкуренция на рынке со стороны недорогих азиатских изготовителей заставила ведущие европейские фирмы приступить к разработкам новых материалов с уникальными магнитными свойствами.



Тенденции разработки магнитных материалов на примере Epcos

Таблица 1. Новые материалы класса N49

| Материалы для силовой электроники | Epcos | Magnetics | Ferroxcube | TDK |
|--|-------|-----------|------------|------|
| Диапазон частот до 1 МГц, потери минимальны при рабочей температуре 100°C | N49 | H | 3F35 | PC50 |
| Диапазон частот до 3 МГц, потери минимальны при рабочей температуре 100°C (разработки 2007–2008 гг.) | N59* | L | 3F45 | – |

* Разработка материала будет завершена в 2008 году.

К классу таких материалов относятся материалы, аналогичные по свойствам N92, N87 и N49. В настоящее время технологией их производства владеют только ведущие фирмы, такие как Epcos, Ferroxcube (Нидерланды), TDK (Япония). По нашим оценкам, для разработки аналогов этих материалов остальными участниками рынка потребуется не менее трех-пяти лет. А за это время лидеры рынка создадут еще более современные аналоги таких материалов.

В представленной схеме (см. рисунок) эти тенденции рассмотрены на примере перспективного плана разработок фирмы Epcos.

Повышение рабочего диапазона частот силовых материалов с одновременным уменьшением потерь. Задачи уменьшения размеров точных изделий невозможно решить без повышения рабочих частот преобразования и разработки ферритовых материалов, функционирующих в диапазоне частот от 500 кГц до 1 МГц. Так, в 2002 году появились новые материалы (табл.1) класса N49 Epcos. Данные материалы российские разработчики используют в основном для создания низкопрофильных трансформаторов на печатных обмотках, но они пока не получили широкого распространения и занимают менее 1% отечественного рынка силовых материалов.

Таблица 2. Основные параметры материалов марок 3F45 и L

| Параметр | Обозначение параметра | 3F45 (ф. Ferroxcube) | L (ф. Magnetics) |
|---|-------------------------|----------------------|------------------|
| Начальная магнитная проницаемость при T = 25°C | μ_n | 900 ± 20% | 900 ± 20% |
| Магнитная индукция при H = 1200 А/м, f = 10 кГц, мТл | BS (25°C) BS (100°C) | 420 370 | 420 370 |
| Температура Кюри | TK | > 300 | > 300 |
| Относительные потери, кВт/м ³ при 1 МГц, 30 мТл, 100°C 1 МГц, 50 мТл, 100°C 3 МГц, 10 мТл, 100°C | P _n | 80 300 150 | 175 – 300 |

Следующим достижением, без сомнения, стали материалы 3F45 компании Ferroxcube и L компании Magnetics, анонсированные в 2006–2007 годах, а также материал N59, окончание разработки и тестирования которого фирма Epcos планирует завершить в 2008 году. Эти материалы, расширяющие рабочий диапазон до 3 МГц, будут активно применяться в сверхминиатюрных источниках питания (например, в авиастроении и космической технике), хотя очевидно, что интенсивность новых разработок во многом будет зависеть от развития электронной элементной базы. Сегодня авторам статьи ничего не известно о практическом использовании данных материалов российскими изготовителями в промышленных масштабах. Основные электромагнитные параметры материалов марок 3F45 и L приведены в табл.2.

Таблица 3. Новые магнитные материалы и их аналоги

| Материал | Epcos | Ferroxcube | TDK |
|---|-------|------------|------|
| Новые материалы Магнитная индукция насыщения 0,47 Тл при T=100°C | N93 | – | PC90 |
| Ближайшие аналоги Магнитная индукция насыщения 0,44 Тл при T=100°C | N92 | 3C92 | PC33 |

Разработка силовых материалов с повышенной величиной индукции насыщения при рабочей температуре 100°C и умеренными потерями на частоте 100 кГц. Увеличение индукции насыщения ферритового материала способствует росту удельной мощности источников питания, что позволяет работать с большими токами. В разработанных несколько лет назад Epcos материалах класса N92 значение индукции насыщения (при $H=1200$ А/м, $f=10$ кГц и $T=100^\circ\text{C}$) увеличено на 0,05 Тл по сравнению с базовыми материалам типа N87 (0,44 и 0,39 Тл соответственно). Сравнение материалов приведено в табл.3.

Новые разработки привели к появлению материалов PC90 (TDK) и N93 (Epcos), тестирование последнего закончено в июне 2008 года. Индукция насыщения материала N93 увеличена (при $H=1200$ А/м $f=10$ кГц и $T=100^\circ\text{C}$) до 0,47 Тл.

Уменьшение потерь в силовых материалах новых марок. До 2002 года российские разработчики электронной техники были ограничены в выборе магнитных материалов и использовали в своих изделиях только отечественные материалы типа M2500HMC2 с потерями около 1600 кВт/м³ ($f=100$ кГц, $V=0,2$ Тл, $T=100^\circ\text{C}$). Новые силовые материалы класса N98 – это большое достижение технологии производства ферритовых материалов, они будут иметь меньшую величину потерь по сравнению с материалом N97. Ниже приведена динамика уменьшения потерь силовых материалов компании Epcos:

| | N67 1985 г. | N87 1990 г. | N97 2002 г. | N98 2008 г. |
|---|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Относительные потери, кВт/м ³ при $f=100$ кГц, $V=0,2$ Тл, $T=100^\circ\text{C}$ | 565 | 375 | 300 | н/д |

В заключение можно сказать, что бесспорным лидером российского рынка силовых материалов в России в настоящее время являются ферритовые материалы фирмы Epcos, имеющие наилучшее соотношение "цена/качество" и наиболее приемлемые сроки поставки.

Несомненно, появление новых материалов будет способствовать расширению возможностей проектирования источников питания с рабочими частотами до 3 МГц и мощностями до сотен киловатт. В области мощной силовой электроники новые материалы со временем могут составить конкуренцию традиционно используемым аморфным материалам.

Состояние отечественного ферритового производства вызывает тревогу. Поэтому необходимо государственное финансирование отечественной ферритовой подотрасли, иначе новые материалы и типоразмеры для нужд гражданской и специальной техники вряд ли будут созданы.