

## Виды, материалы и конфигурации используемых в моточных изделиях магнитопроводов

Ковалев Н.С.

Балтийская электронная компания производит моточные изделия ( изделия, содержащие одну или несколько обмоток проводом-трансформаторы, дроссели, катушки индуктивности). Эти изделия производятся как «воздушными», т.е. без магнитопровода (сердечника), так и с магнитопроводами (сердечниками). Применение магнитопроводов из ферромагнитных материалов (где это возможно) позволяет уменьшить габариты и вес моточных изделий, улучшить их характеристики. Балтийская электронная компания, далее ООО БЭК, использует практически все современные виды магнитопроводов из практически всех современных материалов (кроме пермаллоя).

### 1. Сердечники из электротехнической стали:

а) пластинчатые (шихтованные) выполняются в виде набора из изолированных Ш-образных (Е-образных в латинской транскрипции)(для броневых сердечников) или П-образных (для стержневых сердечников) и замыкающих пластин из электротехнической стали (с высоким значением максимальной магнитной индукции, с узкой петлей гистерезиса, малой коэрцитивной силой и остаточной магнитной индукцией, с уменьшенными потерями на вихревые токи за счет добавок, увеличивающих электрическое сопротивление и с добавками, позволяющими прокатывать металл в тонкие листы).

Сердечник набирается из тонких пластин толщиной 0,1-0,5 мм для дальнейшего уменьшения вихревых токов. Для этой же цели пластины изолируются друг от друга. Вихревые токи-это токи, которые наводятся в материале магнитопровода при работе трансформатора или дросселя, так как этот материал (электротехническая сталь) является проводником электрического тока.

б) ленточные магнитопроводы при их изготовлении навиваются из тонкой ленты холоднокатанной электротехнической стали, изолированной с двух сторон, на специальные оправки. Слои ленты склеиваются между собой. После снятия с оправок, в зависимости от формы оправки, получают сердечники различной формы-кольцевой, прямоугольной, овальной и т. д. Если нужно получить разъемный сердечник, то полученный навитый магнитопровод разрезается пополам и срез шлифуется. ООО БЭК использует наиболее часто кольцевые (тороидальные) неразъемные сердечники типа ОЛ для производства тороидальных трансформаторов. Производятся как однофазные трансформаторы, так и комплекты из трех одинаковых однофазных трансформаторов для трёхфазных систем.

Если нужно получить трансформатор или дроссель, способный работать при подмагничивании постоянным током, то для предотвращения насыщения, в сердечнике должен быть выполнен немагнитный зазор. Для этого берутся разрезные сердечники типа ПЛ для стержневых трансформаторов (состоят из 2-х частей) или ШЛ для броневых трансформаторов (состоят из 4-х частей). Между половинками сердечника при сборке трансформатора или дросселя вставляются немагнитные прокладки из диэлектрического материала, например из специального электротехнического картона. При отсутствии подмагничивания на сердечниках ШЛ и ПЛ без зазора также могут изготавливаться трансформаторы и дроссели.

При изготовлении изделий на частоту 50-60 Гц используется лента электротехнической стали толщиной 0,3-0,35 мм, при повышенной частоте, например 400 Гц — толщиной 0,08 мм.

2. **Ферритовые сердечники из магнитомягких ферритов** (с узкой петлей гистерезиса, малой остаточной магнитной индукцией и малой коэрцитивной силой). Ферриты получают спеканием в прессформах порошков окислов железа и других металлов с различными добавками. Так как ферриты состоят из окислов, то их электрическое сопротивление намного выше, чем у электротехнической стали, что позволяет уменьшить потери на вихревые токи и работать на повышенных и высоких частотах. ООО БЭК использует марганец-цинковые и никель-цинковые ферритовые сердечники производства российских предприятий и ведущих мировых фирм всех имеющихся в распоряжении материалов и конфигураций. Используются как неразъемные кольцевые (тороидальные) сердечники, так и разъемные сердечники всех возможных форм, без зазоров и с немагнитными зазорами, без подстройки и с подстроечными сердечниками, позволяющими изменять индуктивность и подстраивать колебательные контуры на нужную частоту.
3. **Магнитодиэлектрики или порошковые материалы** представляют собой магнитопроводы (сердечники), спеченные из мелкодисперсных порошков металлов и сплавов и диэлектрического связующего. К ним относятся сердечники из молибденового пермаллоя (или мо-пермаллоя, сплава железа и никеля с добавкой молибдена) (отечественные материалы МП, импортные материалы МРР), сплава железа и никеля 50/50 (High Flux), сплавов железа, кремния и алюминия (альсифер, сендаст, Cool Mu, Sendust и т. д.), из порошкового железа (распыленное железо, Iron). К магнитодиэлектрикам относятся также сердечники из карбонильного железа. Все эти сердечники применяются для производства трансформаторов и дросселей, работающих с подмагничиванием постоянным током, так как имеют распределенный зазор за счет диэлектрического связующего. Мелкодисперсные металлические порошки уменьшают вихревые токи и позволяют работать на повышенных и высоких частотах. Магнитодиэлектрики по сравнению с ферритами имеют повышенную максимальную магнитную индукцию.
4. **Ленточные сердечники из аморфных и нанокристаллических сплавов** на основе железа с добавками других металлов и химических элементов. Аморфные сплавы (металлические стекла) получают путем сверхбыстрого охлаждения расплава, который непрерывной струей выливается на быстро вращающийся барабан из материала с высокой теплопроводностью, например, меди. Барабан охлаждается непрерывно поступающей в него охлаждающей жидкостью, например, водой. В результате получается тонкая (17-40 мкм) лента, из которой навиваются кольцевые (тороидальные) магнитопроводы (сердечники) и сердечники другой формы. Из аморфных и нанокристаллических сплавов изготавливаются также разрезные сердечники, аналогичные по форме сердечникам ШЛ и ПЛ из холоднокатанной электротехнической стали. Эти магнитопроводы для трансформаторов и дросселей, работающих с подмагничиванием постоянным током, могут собираться с немагнитным зазором для предотвращения насыщения сердечника. Благодаря очень малой толщине ленты, из-за чего уменьшаются потери на вихревые токи, сердечники из аморфных и нанокристаллических сплавов в отличие от электротехнической стали могут работать на повышенных частотах в десятки и сотни кГц. В отличие от ферритов сердечники из аморфных и нанокристаллических сплавов имеют повышенное значение максимальной магнитной индукции, при низких потерях, что позволяет уменьшить размеры изделий и улучшить их свойства. Нанокристаллические сплавы получают из аморфных сплавов на основе железа и кремния путем регулируемой кристаллизации при точно контролируемой температуре отжига навитых сердечников. Получаемый размер кристаллов составляет 1-10 нм. Структура нанокристаллического сплава представляет собой двухфазную систему, одной из фаз которой являются нанокристаллы, а другой — остаточная аморфная матрица. Свойства нанокристаллического сплава зависят от состава, размера и количества нанокристаллов, а также их соотношения с аморфной фазой. Нанокристаллические сплавы на основе железа и кремния имеют такие же высокие параметры, как аморфные сплавы на основе кобальта, но значительно дешевле. ООО

БЭК производит на магнитопроводах (сердечниках) из аморфных и нанокристаллических сплавов самые различные трансформаторы и дроссели — звуковые, трансформаторы питания и дроссели на повышенные и ультразвуковые частоты до сотен кГц, импульсные трансформаторы. При этом сердечники из аморфных и нанокристаллических сплавов успешно заменяют сердечники из пермаллоя.