

Сравнительные характеристики и применение современных порошковых магнитомягких материалов

Ковалев Н.С. bec@telros.net

Металлические магнитомягкие материалы (металлы и сплавы) обладают более высокими магнитными характеристиками по сравнению с ферритовыми материалами, в частности, значительно более высокой индукцией насыщения. К ним относятся пермаллой (сплавы железа и никеля), сендасты (сплавы железа и алюминия), а также технически чистое железо. На рис.1 показаны основные кривые намагничивания некоторых металлических материалов.

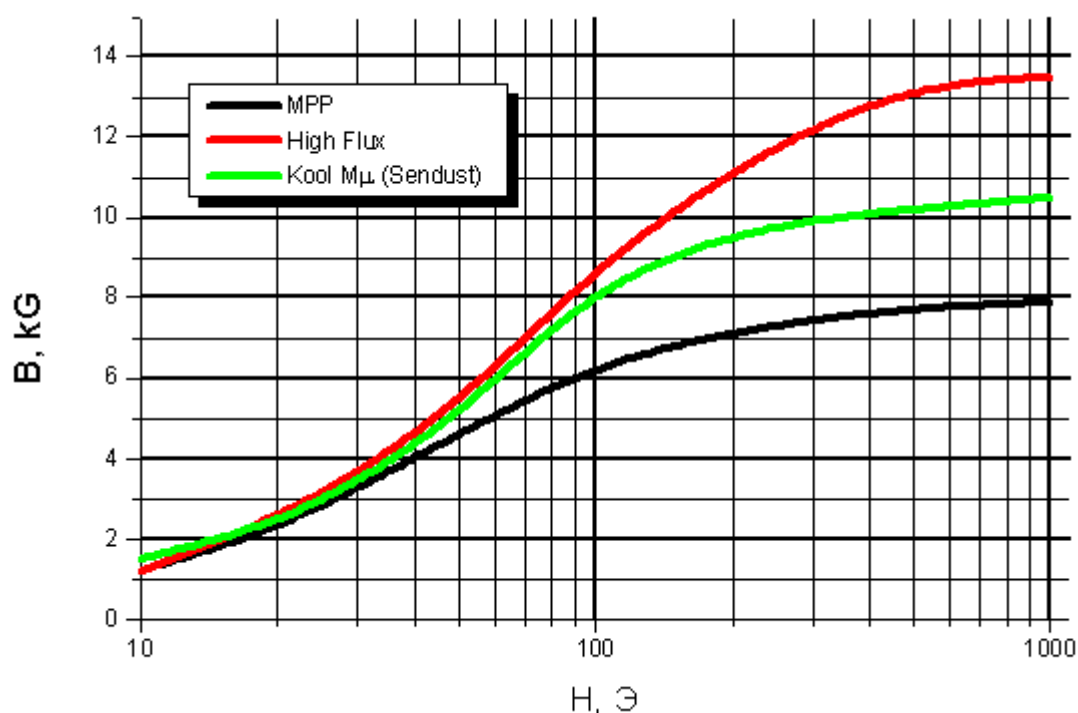


Рис. 1

Существенным недостатком этих материалов является то, что все они имеют относительно низкое электрическое сопротивление, что не позволяет использовать их в виде пластин или ленты на повышенных частотах из-за чрезмерно больших потерь на вихревые токи. Эта проблема решается путем использования указанных материалов в виде порошков в составе магнитодиэлектриков. Диэлектрик в таких материалах выполняет три функции: изолирует зерна ферромагнитного порошка друг от друга, резко снижая потери на вихревые токи; служит связующим, обеспечивающим механическую прочность сердечника; образует распределенный немагнитный зазор между частицами порошка.

Известны четыре вида наиболее употребляемых магнитодиэлектриков с относительно высокой магнитной проницаемостью (по сравнению с карбонильным железом): сердечники из молибденового пермаллоя (мо-пермаллой, зарубежное название MPP); сердечники на основе железоникелевого сплава High Flux; сердечники из железоалюминиевого сплава

Sendust (или Kool M μ); сердечники из распыленного железа (Iron Powder). Из всех перечисленных материалов выпускаются тороидальные (кольцевые) сердечники, а из материалов Kool M μ и Iron Powder выпускаются также сердечники Е-конфигурации. Все виды сердечников, и кольцевые и Е-образные, благодаря наличию распределенного немагнитного зазора, допускают в той или иной степени работу с подмагничиванием постоянным током (или переменным током низкой частоты, или постоянной составляющей несимметричного переменного или пульсирующего тока), что иллюстрируется рис.2.

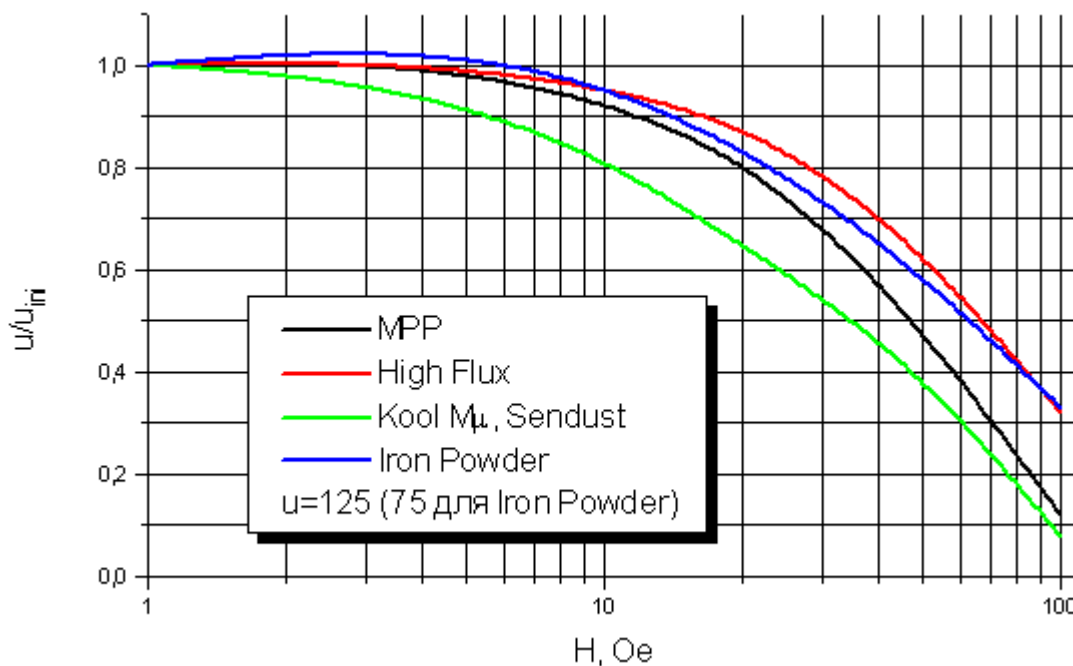


Рис. 2.

Сердечники типа МРР по сравнению с другими перечисленными материалами обладают наименьшей индукцией насыщения 0,7-0,8 Тл (7000-8000 G), что, однако, значительно больше, чем у ферритов (0,3-0,5 Тл). Зато МРР имеют наименьшие суммарные потери, что позволяет применять их в трансформаторах обратных однотактных преобразователей (конверторов), работающих с накоплением энергии, дросселях прямых преобразователей напряжения, импульсных стабилизаторов, корректоров коэффициента мощности, работающих с большой амплитудой переменной составляющей. Благодаря малым потерям габариты изделий на сердечниках МРР будут минимальными по сравнению с изделиями на сердечниках из других материалов. Благодаря тороидальной конструкции получается минимальная индуктивность рассеяния и минимальное излучение по сравнению с изделиями на сердечниках других конфигураций.

Недостатком сердечников МРР является их высокая стоимость, связанная с высоким содержанием никеля (около 80%) в исходном материале.

Сердечники из материала High Flux имеют самую высокую индукцию насыщения, значительно выше, чем МРР (до 1.5 Тл, см. рис.1), содержат меньше никеля (около 50 %) и потому дешевле, но обладают в 2-4 раза большими потерями и могут использоваться для тех же изделий, но на более низких частотах и (или) в более слабых полях. Они хорошо держат подмагничивание постоянным током. Зависимость мощности потерь от рабочей индукции для некоторых сердечников на частоте 100 кГц представлена на рис. 3, а зависимость мощности потерь от частоты при индукции 0,1 Тл (1 кГ) представлена на рис. 4.

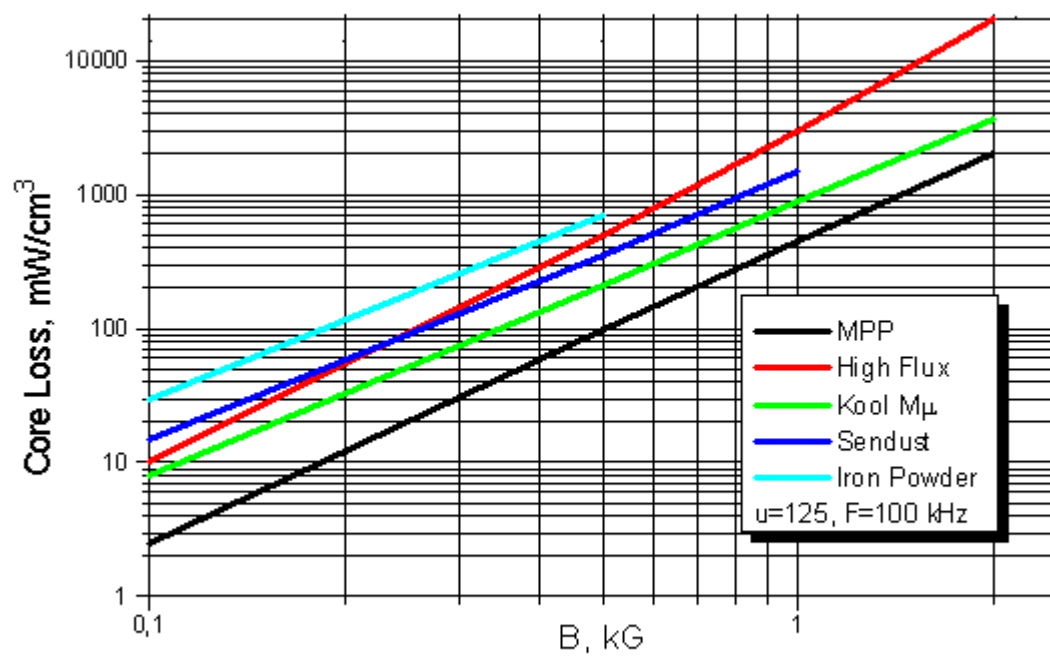


Рис. 3

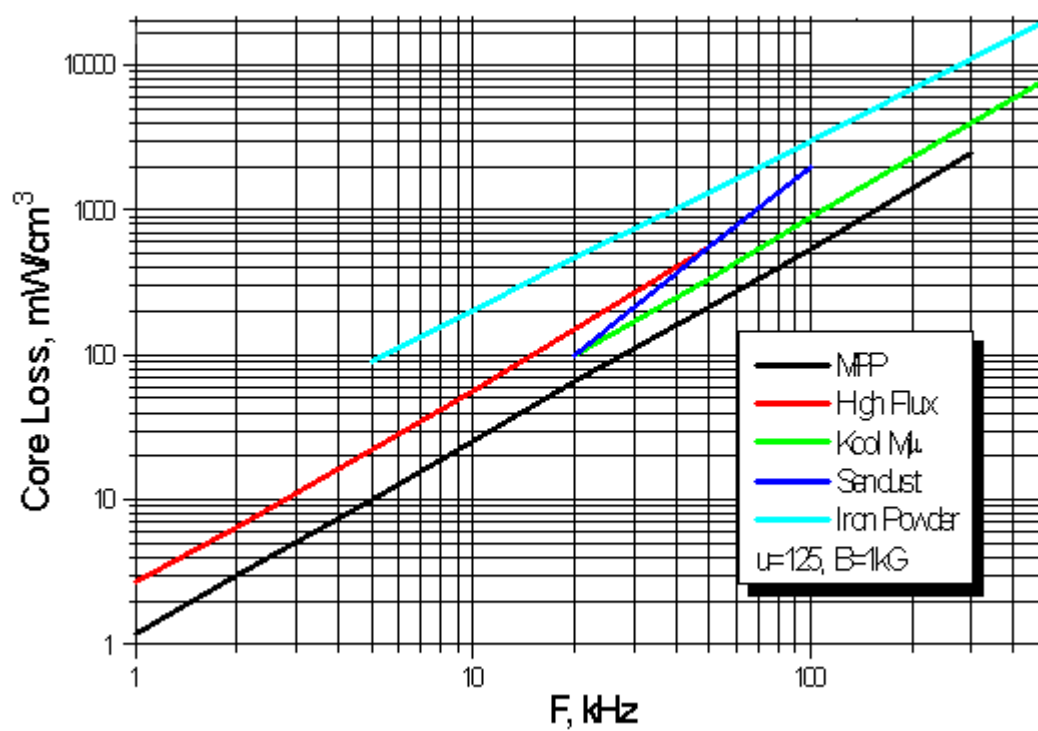


Рис. 4.

Сердечники из сендаста (или Kool M μ , разные фирмы-изготовители называют подобные материалы по-разному) занимают промежуточное положение как по величине индукции насыщения (рис.1), так и по величине потерь (рис. 3 и 4), несколько хуже держат подмагничивание постоянным током (рис. 2), но зато значительно дешевле предыдущих двух материалов, так как совершенно не содержит никеля. Эти сердечники так же могут использоваться, как и MPP и High Flux, но для получения той же величины потерь придется снизить величину рабочей индукции в сердечнике или понизить частоту преобразования. Таким образом, за снижение стоимости придется заплатить увеличением габаритов изделия. Наконец, наиболее дешевыми являются сердечники из распыленного железа (Iron Powder) благодаря дешевизне исходного материала, однако из-за довольно значительных потерь (см. рис. 3 и 4) их наиболее целесообразно применять в выходных дросселях импульсных источников питания (во втором звене фильтра), где размах переменной составляющей невелик, во входных фильтрах радиопомех. При применении сердечников из распыленного железа в дросселях и трансформаторах, работающих в сильных полях (при больших значениях переменной составляющей), для снижения потерь в сердечнике также необходимо снижать величину рабочей индукции и (или) частоту преобразования, что неизбежно приведет к увеличению габаритов изделия рис. 5

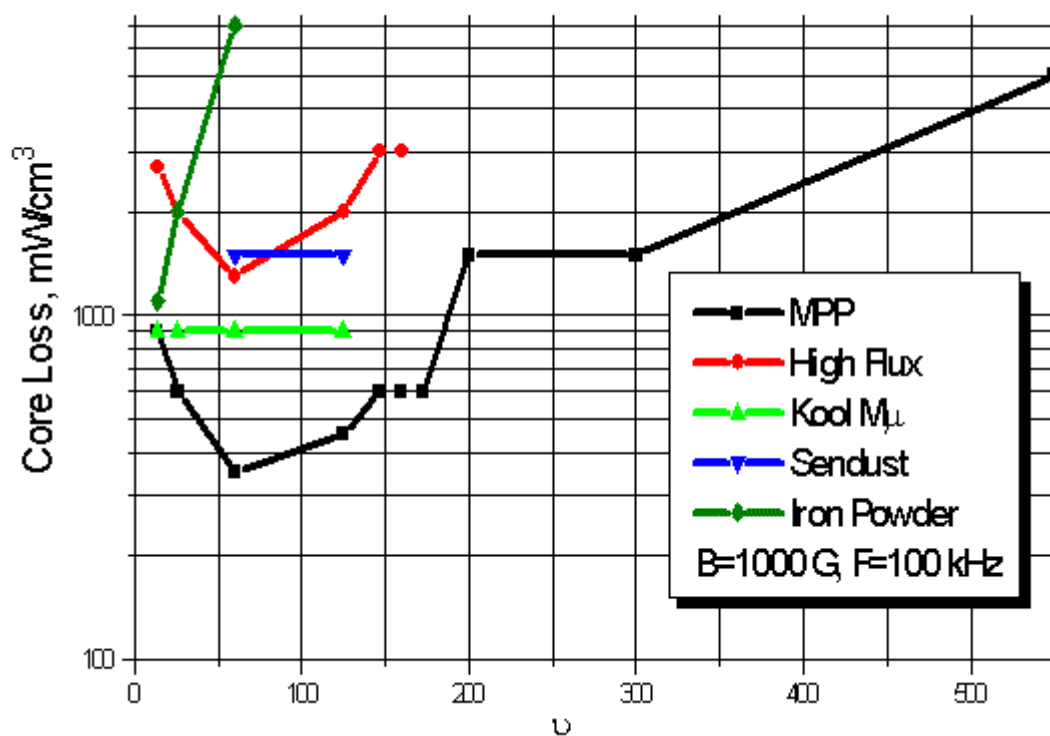


Рис. 5

Представляет интерес зависимость величины потерь от номинальной магнитной проницаемости сердечника, представленная на рис. 5. Из рисунка видно, что величина потерь для сердечников MPP и High Flux от номинальной проницаемости зависит нелинейно и имеет минимум при $\mu=60$; для сендаста и Kool M μ потери от проницаемости не зависят; для распыленного железа потери резко растут с ростом магнитной проницаемости сердечника.