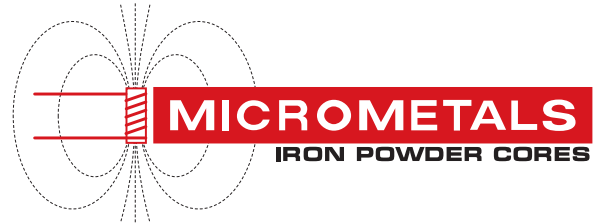


# Сердечники из распыленного железа в импульсных источниках питания



## Джим Кокс

Перевод Артема Терейковского, [www.ferrite.com.ua](http://www.ferrite.com.ua)

Специально для дросселей с высокими частотами пульсаций были разработаны два новых материала: -18 и -52. В таблице 6 приведены сравнительные характеристики различных смесей.

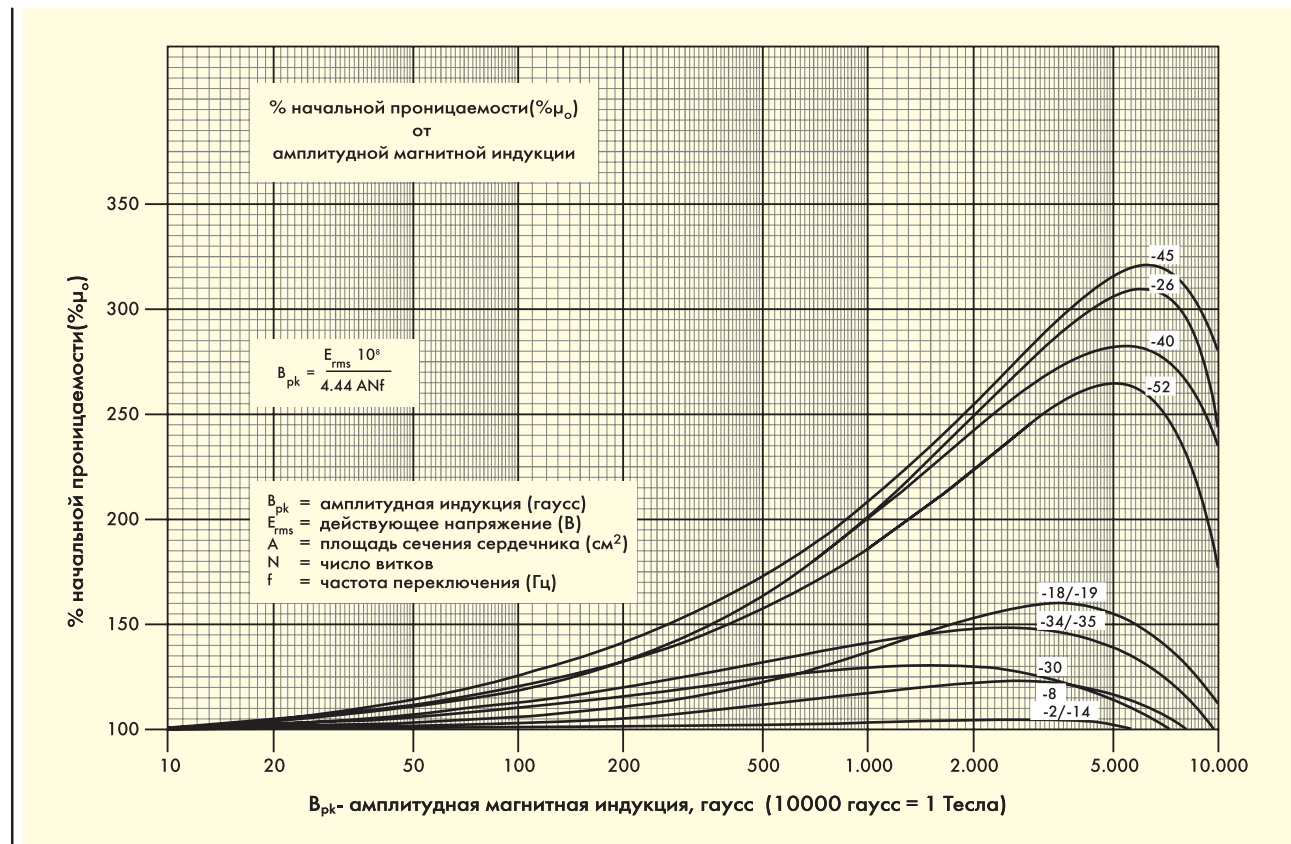
Смесь -52 при такой же, как у материала -26, проницаемости имеет на 40% меньшие потери на частотах выше 100 кГц при той же цене. Смесь -18 име-

ет более высокую проницаемость, чем -8, такой же уровень потерь и меньшую стоимость.

При разработке дросселей с повышенной переменной составляющей индукции следует учитывать не только возрастающий уровень потерь, но и влияние переменной составляющей на индуктивность. На рисунке 11 показана зависимость изменения начальной проницаемости различных материалов от амплитудного значения магнитной индукции.

При повышении уровня постоянной и переменной составляющей их влияние взаимно компенсируется. Этот эффект на примере материала -26 показан на рисунке 12. В то время, как возрастание постоянной составляющей магнитной индукции в сердечнике вызывает уменьшение проницаемости, увеличение переменной составляющей способствует ее увеличению. Это означает, что дроссели, работающие при повышенной переменной составляющей, должны иметь

\* Продолжение. Начало см. «Chip News Украина», № 7, 2005 г.



**Рисунок 11** Зависимость изменения проницаемости материалов от амплитудной магнитной индукции

Таблица 6. Сравнительные характеристики потерь материалов

Материал № смеси	Сравнительные характеристики потерь (мВт/см <sup>3</sup> )						Проницаемость при постоянном токе H <sub>DC</sub> = 62.83 А/см	
	60 Гц	1 кГц	10 кГц	50 кГц	100 кГц	500 кГц	% μ <sub>0</sub> =	μ эффективная
	0.5 мТл	0.15 мТл	50 мТл	22.5 мТл	14 мТл	5 мТл		
-2	19**	32**	32**	28	19	12	100	10.0
-8	45	64	59	50	35	28	91	31.9
-14	19**	32**	32**	29	21	17	100	14.0
-18	48	72	70	63	46	37	74	40.7
-26	32	60	75	89	83	139	51	38.3
-30	37	80	120	149	129	129	91	20.0
-34	29	61	87	100	82	78	84	27.7
-35	33	71	109	137	119	123	84	27.7
-38	31	57	72	99	103	217	51	43.4
-40	29	62	93	130	127	223	62	37.2
-45	26	49	60	69	61	92	46	46.0
-52	30	56	68	72	58	63	59	44.3

\*\* Потери на низких частотах экстраполированы из результатов измерений потерь на высоких частотах

меньшее количество витков, чем получается при расчете, учитывающем только постоянный ток в обмотке.

Возьмем те же исходные данные, что и в предыдущем примере – индуктивность дросселя 30 мкГн, ток в обмотке 10 А. На этот раз дроссель будет работать при напряжении 12.7 Вольт на частоте 100 кГц, скважность 50%. Определим характеристики дросселя при использовании кольца Т106 из разных смесей.

В каждом случае количество витков определяется из кривых зависимостей на-

капливаемой энергии. Поскольку эти зависимости определены при постоянном токе в обмотке, при наличии переменной составляющей результаты будут отличаться.

Индуктивность дросселя определена при напряжении 12.7 В на частоте 100 кГц и при постоянном токе 10 А. Это позволяет оценить изменение индуктивности дросселя для каждого из материалов. Потери в меди (I<sup>2</sup>R) и сердечнике, зависящие от амплитудного значения магнитной индукции (B<sub>pk</sub>), также представлены в таблице 7.

Во всех случаях индуктивность дросселя при 10 А постоянного тока в обмотке превысила 30 мкГн. Материалы -18 и -8 обеспечивают минимальные совокупные потери, но являются наиболее дорогими (см. табл. 1). Смесь -52 по уровню потерь занимает следующее место, но имеет значительно меньшую относительную стоимость (1.4).

Материалы с более высокой начальной проницаемостью, такие, как -26 и -52, имеют наибольшую (около 2 раз) амплитудную нелинейность проницаемости при

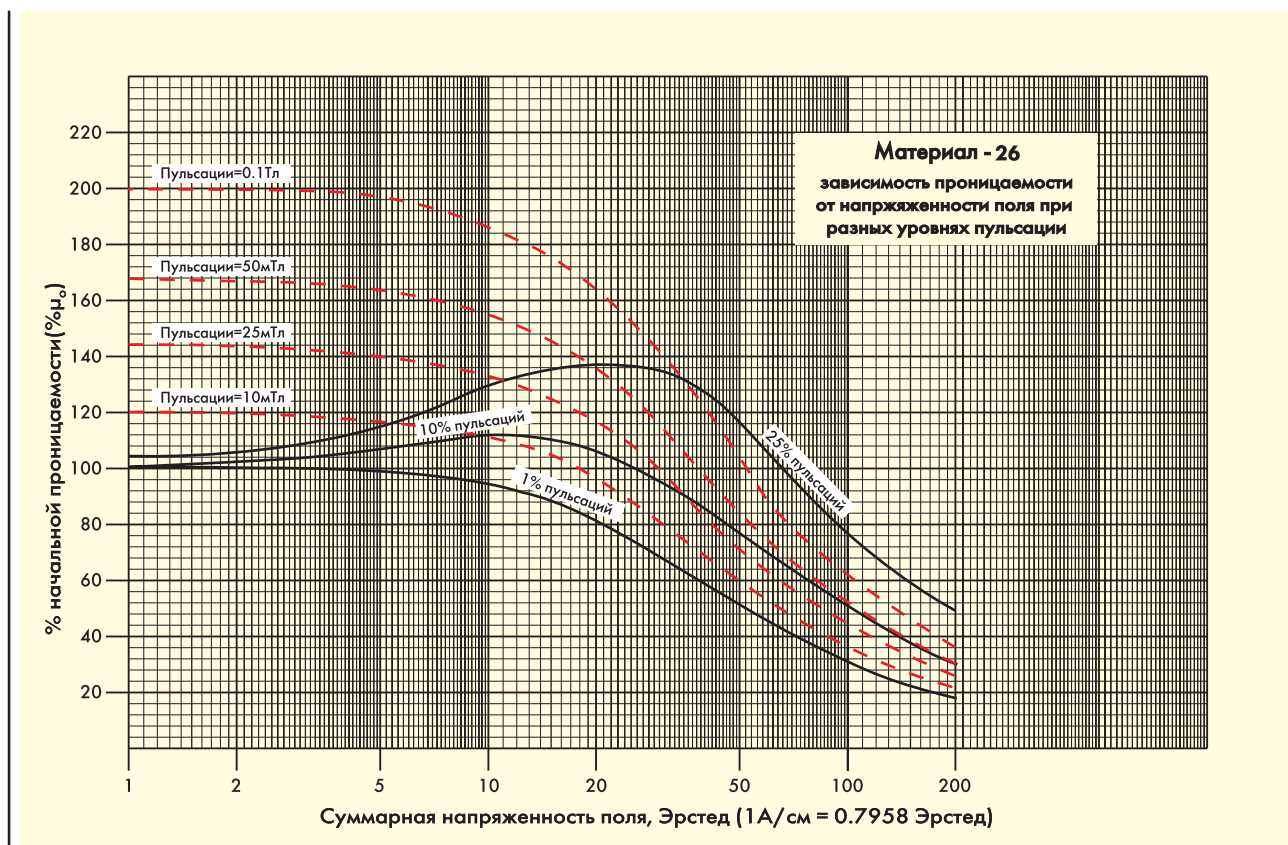


Рисунок 12 Изменение начальной проницаемости от суммарной напряженности поля

изменении рабочего тока от 0 до максимального значения. При таком «качании» дроссель обладает большей проводимостью при малых токах, чем в случае, если бы это «качание» отсутствовало. Для устройств, работающих в широком диапазоне токов нагрузок, может быть необходимо увеличение индуктивности при очень малых токах до 10-20 раз от номинального значения при максимальной нагрузке.

Этого можно добиться, используя гибридный сердечник, составленный из ферритового кольца с высокой начальной проницаемостью и кольца из распыленного железа. Феррит обеспечивает высокую индуктивность, необходимую при малых токах, а распыленное железо обеспечивает накопление необходимого количества энергии при больших токах нагрузки. Характеристика насыщения постоянным током гибридных сердечников из композиций -267 и -275 приведена на рис. 13.

Композиция -267 состоит из 33% феррита силовой марки, аналогичной N67 (N87) фирмы Epcos, с проницаемостью 2300, и 67% распыленного железа марки -52 с проницаемостью 75. Соответственно, композиция -275 состоит из 25% феррита и 75% распыленного железа.

В дросселе традиционного корректора коэффициента мощности (ККМ) на основе повышающего преобразователя

Таблица 7. Характеристика насыщения постоянным током

№ смеси	Витки d=1.29 мм	L, мкГн @ 0 ADC	L, мкГн @ 10 ADC	Врк мТл	Потери:		
					в меди	в сердечнике	суммарные
-8	27	34.8	30.6	17.8	1.60	0.24	1.84
-18	24	45.2	33.4	20.1	1.42	0.34	1.76
-26	25	77.3	38.3	19.3	1.48	0.73	2.21
-28	34	39.2	33.3	14.2	2.02	0.75	2.77
-33	31	45.0	35.3	15.5	1.84	0.75	2.59
-40	24	63.0	39.7	20.1	1.42	1.01	2.43
-52	23	68.8	42.3	20.9	1.36	0.51	1.87

непрерывно меняется ток смещения основной частоты (50 или 60 Гц) и ток высокочастотного переключения преобразователя. Сочетание этих факторов делает расчет дросселей ККМ более сложной задачей, чем расчет типичного дросселя с постоянным подмагничиванием. Оценка потерь такого дросселя рассмотрена выше. В общем случае, рекомендуется рассматривать ток смещения как постоянный ток подмагничивания. Такой подход позволит использовать традиционную методику расчета.

### ФИЛЬТРЫ ДЛЯ СЕТЕЙ 50/60 ГЦ

Традиционные импульсные источники питания требуют установки на входе фильтров высокочастотных помех. Эти помехи делятся на две категории: син-

фазные и дифференциальные. Синфазная помеха возникает симметрично между общим проводом схемы и «нулем» и «фазой» входного сетевого напряжения; дифференциальная помеха наводится между «нулем» и «фазой».

Синфазная помеха подавляется включением конденсаторов между общим проводом схемы и входными клеммами сетевого напряжения. По соображениям безопасности, емкость этих конденсаторов ограничивается относительно малыми значениями, поэтому, для эффективного подавления синфазных помех, дроссели входных фильтров должны иметь достаточно большую индуктивность, обычно не менее 1 мГн. Традиционно такие дроссели имеют две симметричных обмотки, намотанных на ферритовом сердечнике с проницаемостью не менее 5000. Магнитная индукция, создаваемая током основной частоты (50 или

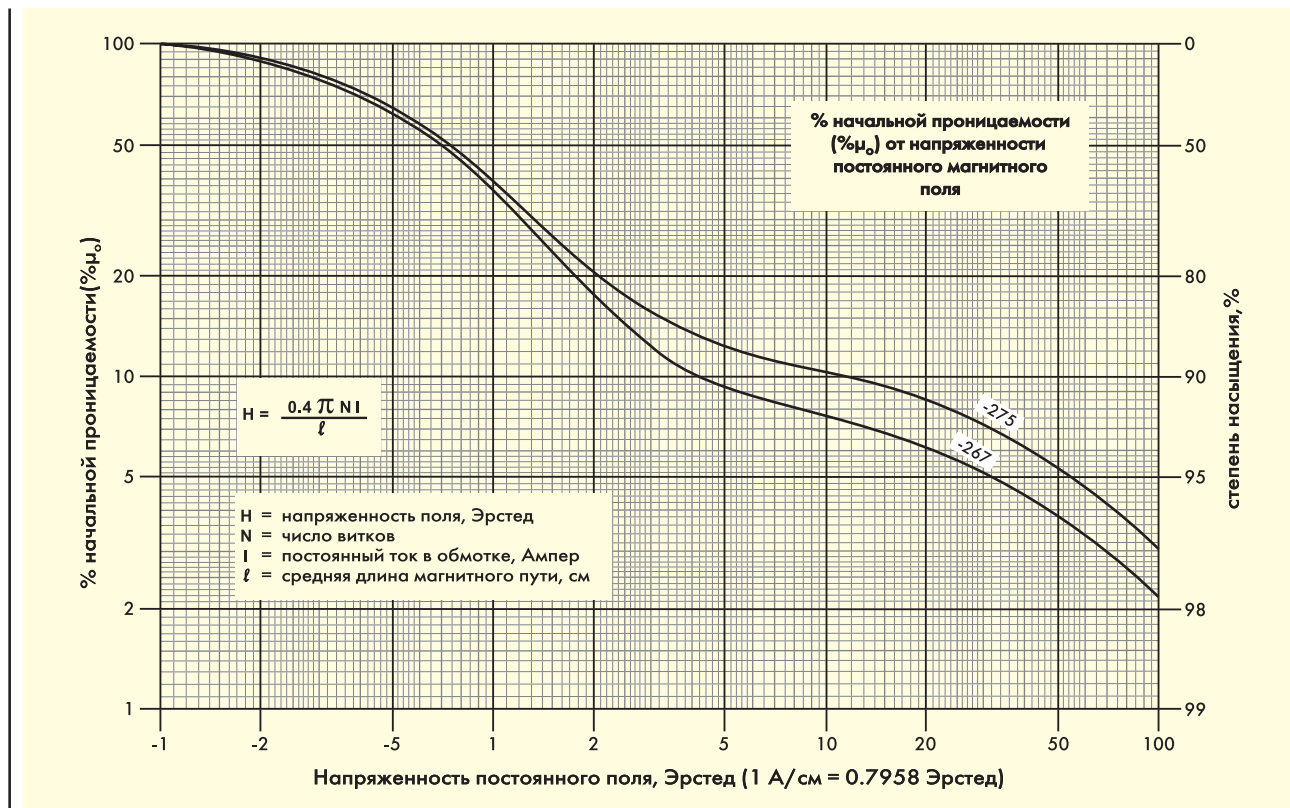
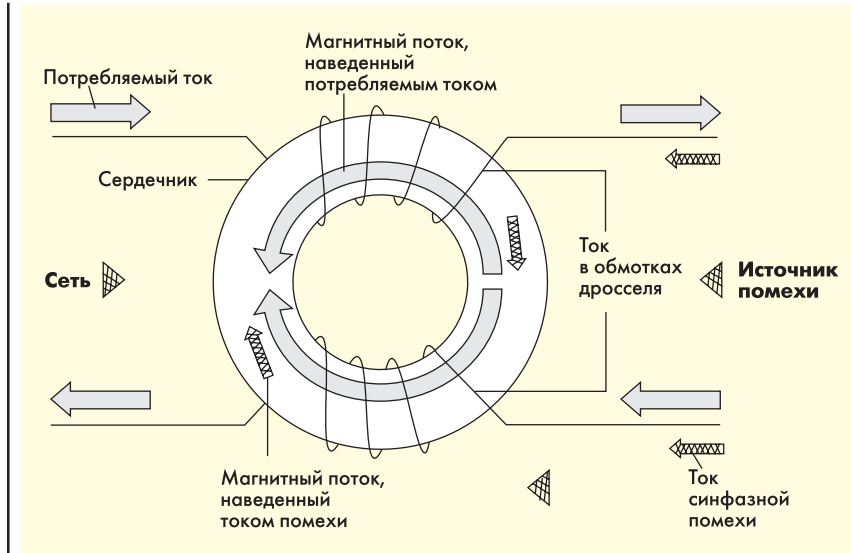


Рисунок 13. Зависимость степени насыщения гибридного сердечника от постоянного тока

60 Гц) в каждой из обмоток, взаимно компенсируется, таким образом, кольцо не насыщается. Магнитные материалы с меньшей проницаемостью, такие, как распыленное железо, также применимы, но увеличение размеров колец для размещения необходимого числа витков делает их использование малопривлекательным.

Напротив, дроссели фильтров дифференциальных помех не должны насыщаться при значительной магнитной индукции, создаваемой током, потребляемым от сети 50/60 Гц, и эффективно подавлять высокочастотные помехи. Распыленное железо наилучшим образом отвечает этим требованиям.

Для сердечников из распыленного железа характерно явление магнитострикции. Это означает, что под воздействием магнитного поля геометрические размеры сердечника незначительно изменяются. В устройствах, работающих на частотах более 20 кГц, магнитострикцией можно пренебречь. Дроссели, работающие на частоте 50/60 Гц, могут «жужжать» достаточно заметно, особенно если в них использованы E-образные сердечники. Магнитострикция зависит также от формы тока в обмотке и ампли-



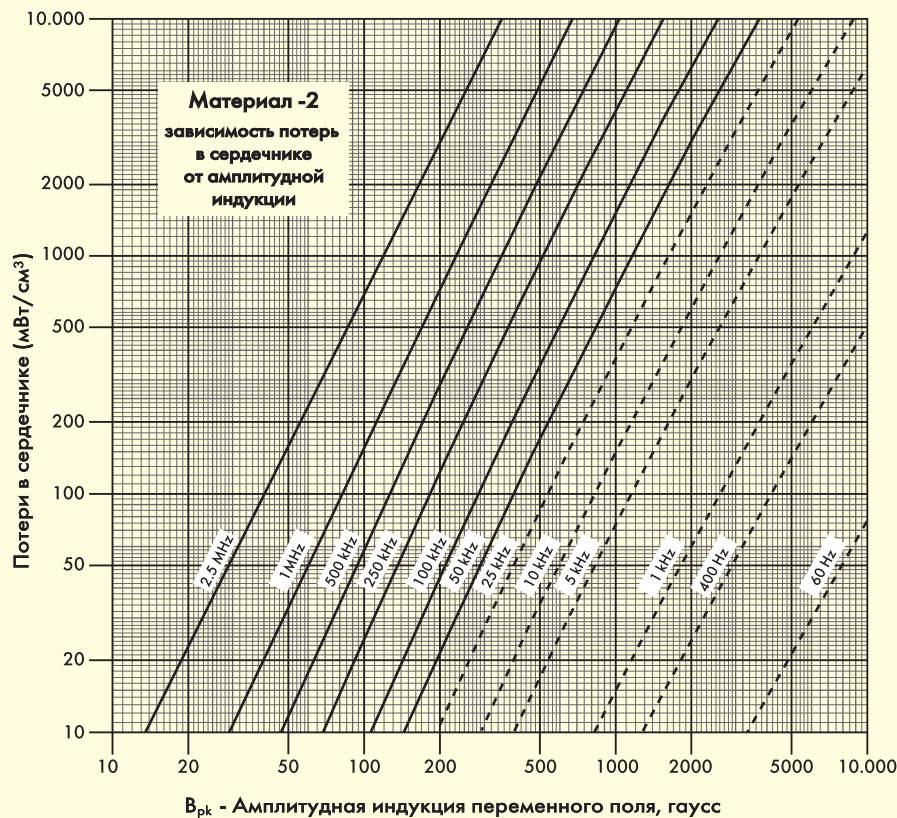
**Рисунок 14** Распределение магнитных потоков в сердечнике тококомпенсированного дросселя

тудной индукции магнитного потока в сердечнике дросселя.

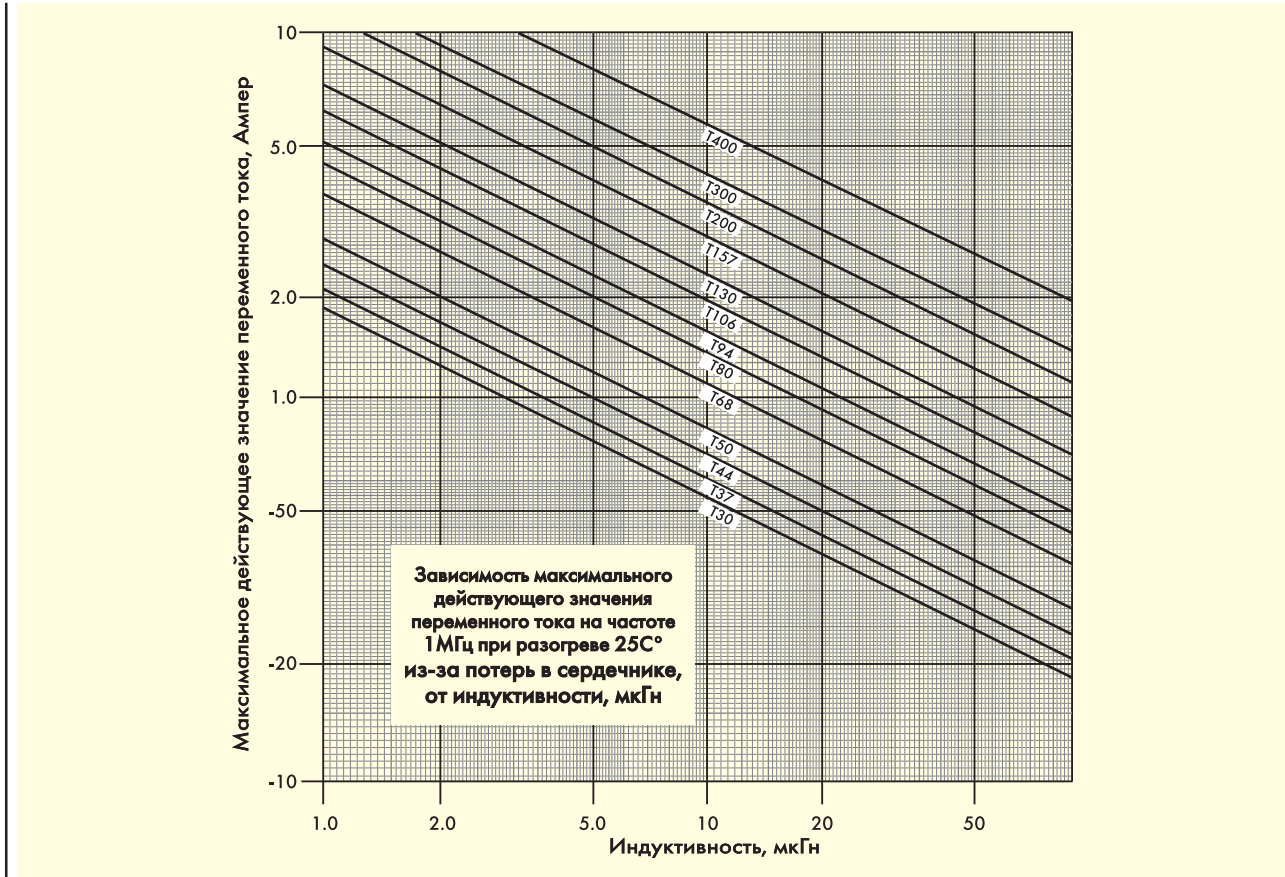
Зависимость увеличения проницаемости от амплитудного значения магнитной индукции переменного тока показана выше на рисунке 11. Из кривой следует, что индукция насыщения распыленного железа превышает 1Тл

(10000 гаусс) и достигает максимального значения 1.4 Тл (14000 гаусс). Очевидно, что материалы с высокой начальной проницаемостью, например, -26, имеют более значительную амплитудную нелинейность магнитной проницаемости.

Из показанной на рисунке 3 зависимости потерь для смеси -52 следует, что на



**Рисунок 15** Зависимость потерь в сердечнике от амплитудной индукции для материала -2



**Рисунок 16** Зависимость действующего значения тока в обмотке от индуктивности при частоте 1 МГц и нагреве 25 °С

частоте 60 Гц этот материал может функционировать при значительном размахе переменной магнитной индукции без возникновения избыточных потерь. На высоких частотах потери материала -52 значительно возрастают. Эти потери снижают добротность дросселя на высоких частотах. Такая особенность способствует лучшему подавлению нежелательных ВЧ-сигналов.

Кривые, отражающие способность сердечников накапливать энергию на частоте 60 Гц, получены как результат поведения материала при различных значениях амплитудной магнитной индукции, показанного на рисунке 11. При этом неясно, как изменяется проницаемость материала вследствие слабой высокочастотной помехи. Консервативная методика расчета предлагает считать ток основной частоты 50/60 Гц постоянным током.

**ИНДУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ РЕЗОНАНСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ**

Другим применением накопительных дросселей являются преобразователи напряжения резонансного типа. Что-

бы ограничить потери в сердечнике на приемлемом уровне, необходимо минимизировать индукцию в сердечнике. При использовании материалов с меньшей начальной проницаемостью число витков обмотки увеличится, так что при том же токе в обмотке генерируется меньшая магнитная индукция.

Одним из методов снижения эффективной проницаемости и уменьшения магнитной индукции в сердечнике является введение локального воздушного зазора. На частотах свыше 100 кГц потери из-за краевого искажения поля в зазоре резко возрастают и могут вызвать существенный локальный перегрев. Во многих случаях потери в зазоре могут превышать потери в сердечнике.

В течение многих лет сердечники из распыленного железа используются в источниках питания с высокой удельной мощностью, работающих на частотах от 500 кГц до нескольких мегагерц. Одним из материалов, все чаще используемых в преобразователях резонансного типа, является смесь -2. Этот материал имеет проницаемость около 10, что позволяет работать с низкой индукцией в сердечнике без возникновения зон локального перегрева.

При таких высоких рабочих частотах для минимизации потерь в меди весьма существенным является использование лицендрата. На рисунке 15 показана зависимость потерь смеси -2 на частотах до 2.5 МГц (зависимости потерь на низких частотах экстраполированы из значений, получены на высоких частотах). На основе этой информации получены зависимости, приведенные ниже на рисунке 16.

Этот график показывает максимальное действующее значение переменного тока в обмотке как функцию индуктивности на частоте 1 МГц при допустимом повышении температуры вследствие потерь в сердечнике на 25 °С.

Если смесь -2 предназначена для резонансных цепей на частотах свыше 20 кГц, смесь -30 используется для низкочастотных дросселей переменного тока в мощных источниках бесперебойного питания большой мощности, работающих на частотах от 1 до 5 кГц. Этот материал обеспечивает хороший компромисс между начальной проницаемостью, уровнем потерь, характеристиками насыщения и ценой сердечника.

**(Продолжение следует)**