

Способ оценки стальных магнитопроводов

«Радио», 1989, №1, с. 70...72.

При самостоятельном расчете и изготовлении сетевых трансформаторов радиолюбители часто сталкиваются с проблемой оценки качества имеющегося в наличии магнитопровода – нахождения его характеристического числа k .

Этот параметр является определяющим при расчете необходимого числа витков на вольт. Значение характеристического числа магнитопровода зависит от свойств стали, из которой он изготовлен, от толщины пластин (или ленты) и других факторов. Поэтому в радиолюбительских расчетах (см., например, статью Г. Мартынихина «Расчет тороидальных трансформаторов» в «Радио», 1972, № 3, с. 42) этим числом задаются довольно приблизительно. Трансформаторы, изготовленные по такой методике, обладают неоптимальными характеристиками, они излишне тяжелы и громоздки. Оптимизация трансформатора возможна лишь при более или менее точном определении числа k . В описываемой ниже статье рассказано о том, как определить характеристическое число любого магнитопровода.

Известно, что при расчете сетевого трансформатора в домашних условиях зачастую приходится прибегать к приближенным значениям исходных величин. Наиболее слабым звеном расчета при этом остается определение числа витков на вольт, поскольку, как правило, радиолюбителю неизвестны характеристики материала используемого магнитопровода. Расчет этого параметра основан на законе электромагнитной индукции и условии компенсации напряжения сети U_c электродвижущей силой самоиндукции сетевой (первичной) обмотки U_1 трансформатора: $U_1=U_c$; $U_1=4,44 * 10^{-4} * w_1 * B_m * K_c * S$, где w_1 – число витков сетевой обмотки; B_m – максимальное значение индукции в стали, Тл; S – площадь поперечного сечения среднего стержня магнитопровода, см²; K_c – коэффициент заполнения по стали.

При частоте сети 50Гц получают $N=w_1/U_1=45/B_m * K_c * S$, где N – число витков на вольт; $B_m * K_c=B_M$ – максимальная индукция в магнитопроводе, имеющая смысл общей характеристики его как монолитного ферромагнитного тела.

В практике приближенного расчета утвердилось определение $N=k/S$, где $k=40...60$ (зависит от магнитных свойств стали, технологии изготовления пластин магнитопровода и качества его сборки). Поскольку $k=45/B_m K_c$ (здесь множитель $1/K_c$ отображает все факторы, ослабляющие магнитный поток в магнитопроводе), возможное относительное изменение k можно рассматривать как число витков на вольт при $S=1$ см². Число k для магнитопроводов с различными пластинами указано в таблице (табличное значение k в дальнейшем обозначено k_T).

Однако следует иметь в виду, что это число связано сложной зависимостью с током холостого хода I_{Ix} сетевой обмотки трансформатора, т. е. с током, создающим намагничивающее поле ($H=w_1 * I_{Ix}/l_{cp}$, где l_{cp} – средняя длина магнитной цепи магнитопровода) и определяющим уровень насыщения магнитопровода. В лучшем случае, при табличном определении коэффициента k значение I_{Ix} ограничивается значением $(0,1...0,2) * I$. Характерно, что I_{Ix} отстает от U_1 на угол около $\pi/2$, поскольку активная составляющая тока I_{Ix} меньше 0,1 от реактивной.

Стремление к более полному использованию рабочего участка характеристики $V_m=f(H)$ нередко приводит к тому, что зависимость $I_{IX} = f(U_I)$ становится близкой к квадратичной и ток I_{IX} приобретает форму коротких импульсов. При удачном выборе значения числа k нелинейное возрастание I_{IX} начинает проявляться примерно с $U_I > 0,8 U_{Iном}$, а допустимый верхний предел первичного напряжения при длительной работе $U_{Imax} = 1,1 U_{Iном}$, где $U_{Iном} = U_C$ [1]. Ввиду того, что конец рабочего участка зависимости $I_{IX}(U_I)$ имеет большую крутизну, особенно нежелательно уменьшение k . С уменьшением его табличного значения на 5% при таком же отклонении от действительного значения произойдет уменьшение U_{Imax} на 10%, т. е. U_{Imax} станет равным U_C . В этом случае магнитопровод будет глубоко насыщен, что определит импульсный характер тока I_{IX} и значительное нарушение указанного выше условия компенсации. Так, без знания точного значения k и соответствующего ему I_{IX} трансформатор становится источником помех с широким спектром частот [2].

Для точного определения значений параметров N , k , V_m (при $I_{IX} = (0,05...0,1) I_{Iном}$) случайного магнитопровода можно поступить следующим образом. На каркасе его катушки наматывают пробную обмотку с числом витков $w_{пr}$, равным 0,1 от $w_{Iном}$, где $w_{Iном} = U_{Iном} * k_T / S = 22 * k_T / S$. Номинальное значение числа витков первичной обмотки определяют ориентировочно, найдя число k_T из таблицы: $w_{п} = 22k_T / S$. Пробную обмотку наматывают на каркасе будущего трансформатора, свободном от других обмоток, и собирают магнитопровод. Обмотку подключают к источнику пониженного переменного напряжения (оно должно быть близким к 20...22 В), измеряют каждый раз ток через обмотку. По полученным данным на графике строят кривую $I_{пх}=f(U_{п})$ для пробной обмотки. Затем определяют абсциссу $U'_{п}$ точки пересечения линии этого графика с кривой, соответствующей требуемому значению I_{IX} . По полученному результату $U'_{п}$ и известным параметрам $w_{п}$ и S определяют значения следующих величин: $N = w_{п} / U_{пr}$, $w_{Iном} = N U_{Iном}$; для сравнительной оценки: $k = NS$, $V_m = 43/k$, Тл.

Для пробной обмотки пригоден провод ПЭВ-1 или ПЭВ-2 диаметром 0,25...0,35 мм. Если на магнитопроводе нет каркаса, нужно склеить из картона гильзу соответствующих размеров. При наличии О-образного магнитопровода число витков пробной обмотки делят пополам и каждую половину наматывают на одну из сторон магнитопровода. Полуобмотки соединяют последовательно-согласно.

Пробная обмотка является моделью сетевой обмотки и объектом для получения исходной функциональной зависимости $I_{пх}f(U_I)$, представляющей масштабное отображение характеристики холостого хода $I_{IX}=f(U_I)$ трансформатора. По своим электромагнитным свойствам пробная обмотка эквивалентна первичной, и поэтому их магнитодвижущие силы должны характеризоваться равенством $I_{пх}w_{п} = I_{IX} * w_{Iном}$. Из условия эквивалентности следует: $I_{пх} U_{п} = I_{IX} * U_{Iном}$, т. е. $P_{пх} = P_{IX}$, а также $I_{пх} = I_{IX} U_{Iном} / U_{п}$.

То, что исходная зависимость $I_{пх} = f(U_{п})$ – сложная неаналитическая функция, определило графический подход к решению поставленной задачи. Математически решение состоит в определении значений координат $I_{пх}$, $U_{пr}$, удовлетворяющих двум функциональным зависимостям – исходной $I_{пх}f(U_{п})$ и вспомогательной $I_{пх} = I_{IX} * U_{Iном} / U_{п}$ при заданном значении I_{IX} . Этим координатам соответствует точка пересечения графиков двух функциональных зависимостей. На завершающем этапе рассматриваемого решения достаточно знать только значение абсциссы $U'_{п}$ этой точки, поскольку $N = w_{п} / U'_{п}$.

Таким же образом возможно получение ряда частных решений. С этой целью на графике нанесены вспомогательные линии $I_{пх} = I_{IX} * U_{Iном} / U_{п}$ для наиболее необходимых значений I_{IX} . Координаты точек пересечения вспомогательных линий с линией графика $I_{пх} = f(U_{п})$ характеризуются равенством $I_{пх} U_{п} = I_{IX} U_{Iном}$. На основании этого равенства значения величин $N = w_{п} / U'_{пr}$, $w_{Iном} = N U_{Iном}$, $k_{п} = NS$, $V_m = 45/k$ ($k_{п}$ – вычисленное значение k для пробной обмотки) однозначно отвечают заданному значению I_{IX} и соответствующему режиму магнитопровода ($P_{пх} = P_{IX}$).

При наличии готового трансформатора с намотанной первичной обмоткой с числом витков w_1 можно воспользоваться тем же графиком. В этом случае значения $U_{пr}$, отложенные по горизонтальной оси, нужно увеличить, а $I_{пх}$, отложенные по вертикальной оси, - уменьшить в 10 раз. Если окажется, что при $U_{I_{ном}} = 220$ В значение I_{I_x} превысит желаемое, то дальнейший ход определения величины N для вновь принимаемого значения I_{I_x} остается прежним.

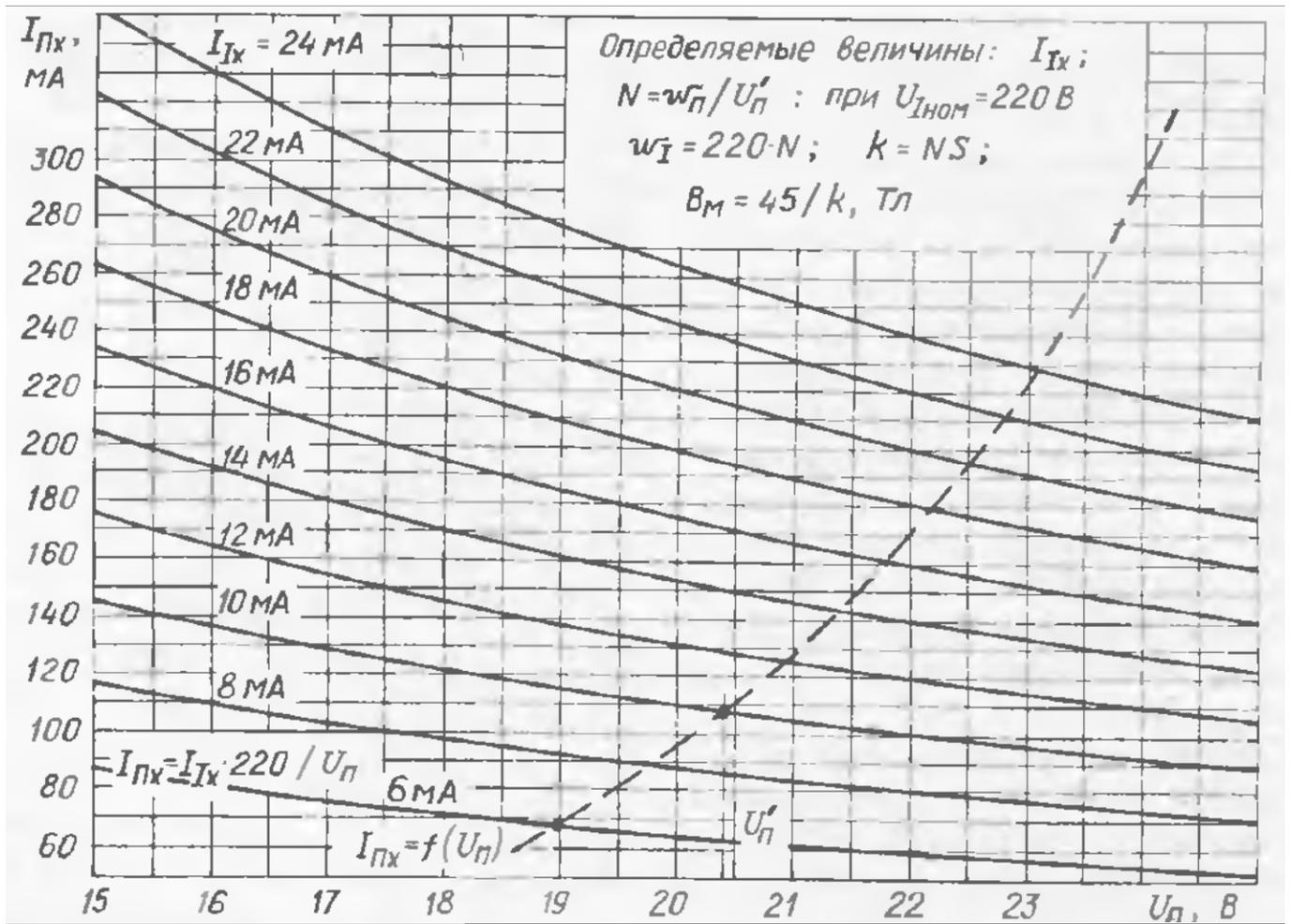
После выполнения пробной обмотки собирают трансформатор. Магнитопровод должен быть собран так же тщательно, как при окончательной сборке. Иначе будут получены неверные результаты.

Рассмотрим пример определения параметров магнитопровода УШ 16x24 с пластинами толщиной 0,35 мм без сборочных отверстий; $S = 3,84 \text{ см}^2$. По таблице находим $k_T = 38$ и определяем $w_n = 22 * k_T / S = 22 * 38 / 3,84 \approx 200$ вит. После расчета по общеизвестной методике габаритной мощности P_r и получения значения $I_{I_{ном}}$ определяем значение тока I_{I_x} из условия $I_{I_x} = (0,05...0,1) I_{I_{ном}}$. Далее строим график $I_{пх} f(U_{п})$ в области принятого значения I_{I_x} и $U_{п} = 20 \pm 2$ В. После построения графика и определения $U_{п} = 20,4$ В при токе $I_{I_x} = 10$ мА вычисляем: $N = 200 / 20,4 = 9,8$ вит/В; $w_{I_{ном}} = 9,8 * 200 = 2156$ витков; $k_n = 9,8 * 3,84 = 37,6$.

Л. Игнатюк
г. Москва

литература

1. **Касаткин А. С., Немцов М. В.** Электротехника. – М.: Электроатомиздат, 1983, с. 175, 176.
2. **Поляков В.** Уменьшение поля рассеяния трансформатора. - Радио, 1983, №7, с. 28, 29.



тип	пластины		к _т
	толщина, мм	сборочные отверстия	
Ш	>0,35	Есть	55...60
	0,35	Нет	50
УШ, П, Г	0,35	Есть	45
		Нет	38...40
С	0,15	Нет	35