

# Определение параметров петли гистерезиса магнитопровода

Е.МОСКАТОВ,

г.Тарангор Ростовской обл.  
http://moskatov.narod.ru

В радиолюбительской практике нередко возникают случаи, когда необходимо знать основные параметры петли гистерезиса материала магнитопровода с большей точностью, чем указано в справочниках. Это, к примеру, может понадобиться при выборе магнитопровода для силового трансформатора импульсного источника питания или для колебательного контура передатчика. Чтобы облегчить процесс нахождения магнитной индукции, напряженности магнитного поля и магнитной проницаемости, рекомендую применять методику измерений косвенным способом. Для этого нужны только широкодоступные приборы: генератор сигналов, измеритель индуктивности и электронно-лучевой осциллограф.

Для нахождения магнитной проницаемости "μ" кольцевого сердечника на него наматываем пробную обмотку. Число витков пробной обмотки обычно не должно быть меньше 40 для сохранения достаточно высокой точности получаемых результатов, но и не должно превышать 200, так как это приведет к нерациональному использованию обмоточного провода.

Измерим индуктивность пробной обмотки и найденное значение подставим в следующую формулу:

$$\mu = \frac{25 \cdot 10^3 \cdot L \cdot (A+B)}{W \cdot C \cdot (A-B)},$$

где L — измеренная индуктивность, мкГн;

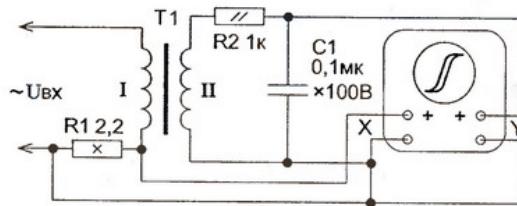
W — число витков пробной обмотки;

A — внешний диаметр тороидального магнитопровода, мм;

B — внутренний диаметр магнитопровода, мм;

C — высота магнитопровода, мм.

Чтобы снизить погрешность при определении индуктивности обмотки, целесообразно заранее учесть паразитную индуктивность соединительных проводов от измерительного прибора и от выводов пробной обмотки. Полученная проницаемость приближается к начальной магнитной проницаемости, если напряженность магнитного поля в материале магнитопровода стремится к нулю. При увеличении напряженности магнитного поля магнитная проницаемость сначала возрастает, а после достижения наибольшей величины снижается. Магнитная проницаемость на кривой гистерезиса соответствует наклону петли.



В радиолюбительской практике измерение магнитной индукции насыщения "B" и напряженности магнитного поля "H" можно выполнить с помощью обычного электронно-лучевого осциллографа и испытательного стенда [1, С.249]. Достоинством рассматриваемого способа является возможность визуального наблюдения кривой гистерезиса. Типичное сопротивление резистора R1 — от 0,5 до 3,3 Ом, резистора R2 — от 1 до 2,7 кОм, емкость конденсатора C1 — от 0,068 до 0,22 мкФ.

Сигнал с генератора подают через R1 на первичную обмотку исследуемого трансформатора (магнитопровода) T1. Рабочая частота генератора должна соответствовать частоте, на которой запланировано эксплуатировать испытуемый магнитопровод, так как магнитные параметры существен-

но зависят от частоты. Падающее на резисторе R1 напряжение, пропорциональное току намагничивания тестируемого сердечника, подают на усилитель горизонтального отклонения осциллографа (X-пластины).

Ток намагничивания можно измерить, включив амперметр последовательно с первичной обмоткой трансформатора T1. Напряжение с вторичной обмотки трансформатора T1 поступает на интегратор, образованный RC-цепью R2-C1. Сопротивление R2 должно быть достаточно велико, чтобы можно было пренебречь имеющимися паразитными сопротивлениями. Вместо RC-цепи можно использовать операционный усилитель, включенный по схеме интегратора, однако это усложнит стенд. Постоянная времени цепи интегрирования должна превышать период сигнала генератора.

Проинтегрированный сигнал поступает на усилитель вертикального отклонения (Y-пластины) осциллографа. Отклонение луча по оси X соответствует напряженности магнитного поля, а по оси Y — магнитной индукции. Падение напряжения на конденсаторе C1 пропорционально мгновенной величине индукции в магнитопроводе, что можно записать следующим образом [2, С.344]:

$$U_c = \frac{S \cdot W_2 \cdot B(t)}{C1 \cdot R2} (B),$$

где S — площадь поперечного сечения магнитопровода, м<sup>2</sup>;

W<sub>2</sub> — число витков вторичной обмотки трансформатора T1;

B(t) — мгновенное значение магнитной индукции, Тл;

C1 — емкость конденсатора, Ф;

R2 — сопротивление резистора интегрирующей цепи, Ом.

Чтобы снимать показания, необходимо отградуировать каналы осциллографа. На усилители X и Y осциллографа от генератора подаются напряжения  $U_x$  и  $U_y$  с известными среднеквадратическими значениями и рассчитывают коэффициенты масштабирования  $m_x$  и  $m_y$ .

Для усилителя горизонтального отклонения коэффициент масштабирования  $m_x$  находят по формуле:

$$m_x = \frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot U_x}{\ell_x} \left( \frac{\text{В}}{\text{см}} \right),$$

где  $\ell_x$  — отрезок, на который отклоняется электронный луч вдоль абсциссы, см.

Для усилителя вертикального отклонения коэффициент масштабирования  $m_y$  определяют совершенно аналогично, согласно выражению:

$$m_y = \frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot U_y}{\ell_y} \left( \frac{\text{В}}{\text{см}} \right),$$

где  $\ell_y$  — длина отрезка, на который смещается электронный луч вдоль ординаты, см.

Теперь, узнав индукцию насыщения образца и магнитную проницаемость сердечника, аналитически найдем напряженность магнитного поля  $H$  по формуле:

$$H = \frac{B}{\mu \cdot \mu_0} \left( \frac{\text{А}}{\text{М}} \right),$$

где  $B$  — магнитная индукция в материале сердечника, Тл;

$\mu_0$  — магнитная постоянная вакуума, равная  $4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м;

$\mu$  — магнитная проницаемость вещества магнитопровода.

Момент начала насыщения материала магнитопровода соответствует прекращению монотонного увеличения индукции при повышении напряженности поля, что можно визуально наблюдать по загибу кривой петли гистерезиса. Также может

быть интересна ширина петли гистерезиса, так как она соответствует величине потерь в магнитопроводе. Чем уже петля гистерезиса, тем потери меньше.

Таким образом, определяются три важнейших параметра петли гистерезиса магнитопровода: магнитная проницаемость, индукция насыщения и напряженность магнитного поля. Эти сведения позволяют обоснованно выбрать магнитопровод для конкретного применения, даже если его маркировка стерта.

#### Литература

1. Браун М. Источники питания. Расчет и конструирование. — К.: МК-Пресс, 2005. — 288 с.
2. Электрические измерения: Учебник для техникумов / Р.М. Демидова-Панферова и др. — М.: Энергоиздат, 1983. — 392 с.