

Петля гистерезиса (статический метод) (3.4.4)

Манро Эйден

Цель работы: Исследование кривых намагничивания ферромагнетиков с помощью баллистического гальванометра.

В работе используются: генератор тока с блоком питания, тороид, соленоид, баллистический гальванометр с осветителем и шкалой, амперметры, магазин сопротивлений, лабораторный автотрансформатор (ЛАТР), разделительный трансформатор.

Теоретические положения

Магнитная индукция B и напряжённость магнитного поля H в ферромагнетике неоднозначно связаны между собой: индукция зависит не только от напряжённости, но и от предыстории образца. В эксперименте будет исследоваться *основная кривая намагничивания* $OACD$ и *предельная петля гистерезиса* $DEFD'E'F'D$ (см. рис. 1).

С помощью баллистического гальванометра и амперметра будем косвенно измерять зависимость индукции магнитного поля от его напряжённости. Напряжённость магнитного поля H в тороиде зависит от тока, текущего в намагничивающей обмотке:

$$H = \frac{N_{T_0}}{\pi D} I,$$

где D - средний диаметр тора, N_{T_0} - количество витков.

Изменение поля приводит к изменению потока магнитной индукции Φ в сердечнике, в измерительной обмотке возникает ЭДС индукции, через гальванометр, в свою очередь, протекает импульс тока, изменяется положение рамки и, следовательно, зайчика. Окончательно (определив также баллистическую постоянную гальванометра, проведя измерения с соленоидом) для изменения магнитной индукции в сердечнике тороида получаем:

$$\Delta B = \mu_0 \left(\frac{d_C}{d_T} \right)^2 \frac{R}{R_1} \frac{N_{C0}}{N_{T1}} \frac{N_{C1}}{l_C} \Delta I_c \frac{\Delta x}{\Delta x_c},$$

где R - полное сопротивление измерительной цепи тороида, d_C, d_T - диаметр поперечного сечения соленоида и тороида соответственно, N_{C0} - число витков пустотелого соленоида, N_{C1} - число витков короткой измерительной катушки l_C - длина соленоида, Δx_c - отклонение зайчика при работе с соленоидом, Δx - отклонение зайчика в эксперименте, ΔI_c - ток соленоида.

Также нам понадобится максимальная дифференциальная магнитная проницаемость

$$\mu_{diff} = \frac{1}{\mu_0} \frac{dB}{dH}$$

характеризующая связь между магнитной индукцией B и напряжённостью магнитного поля H в веществе.

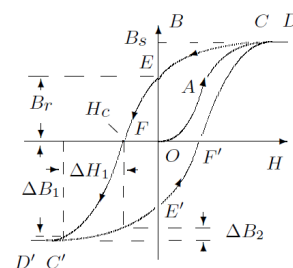


Рис. 1: Петля гистерезиса ферромагнетика

Экспериментальная установка

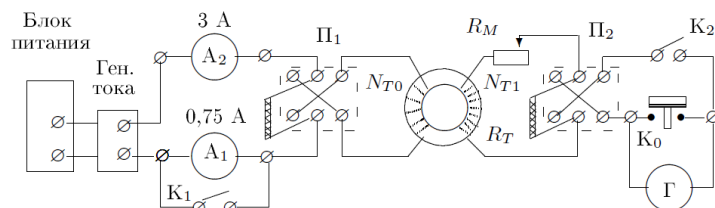


Рис. 2: Схема установки для исследования петли гистерезиса

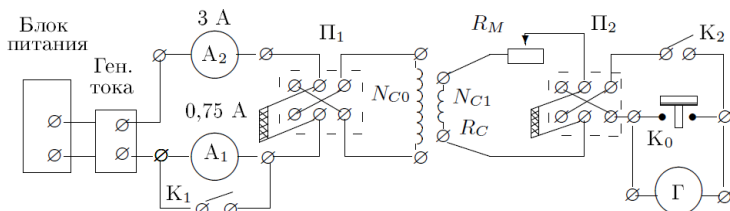


Рис. 3: Схема установки для калибровки гальванометра

После снятия петли гистерезиса необходимо размагнитить сердечник, подключив его к цепи переменного тока, постепенно снижая его амплитуду. Только затем следует приступать к снятию основной кривой намагничивания.

Результаты

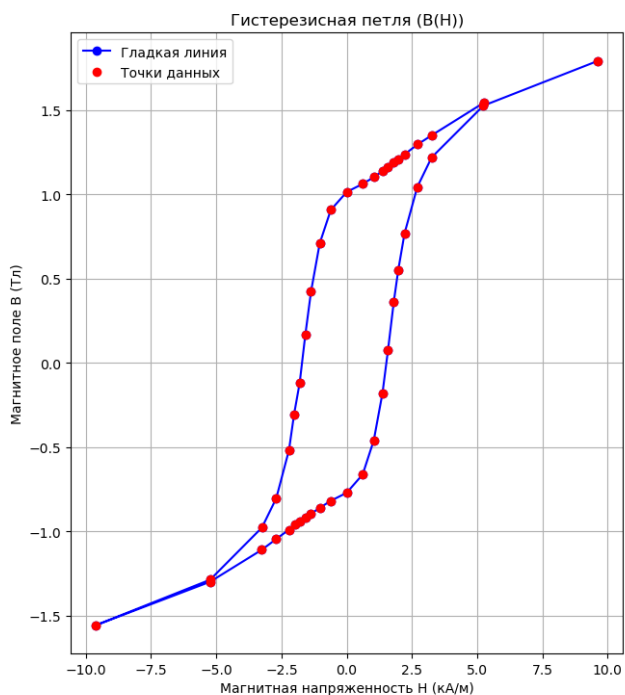


Рис. 4: Гистерезис

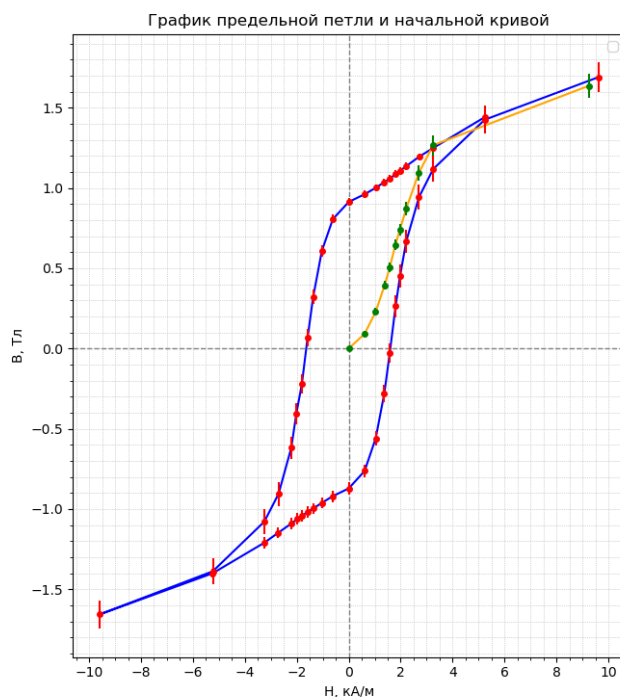


Рис. 5: Гистерезис и начальная кривая

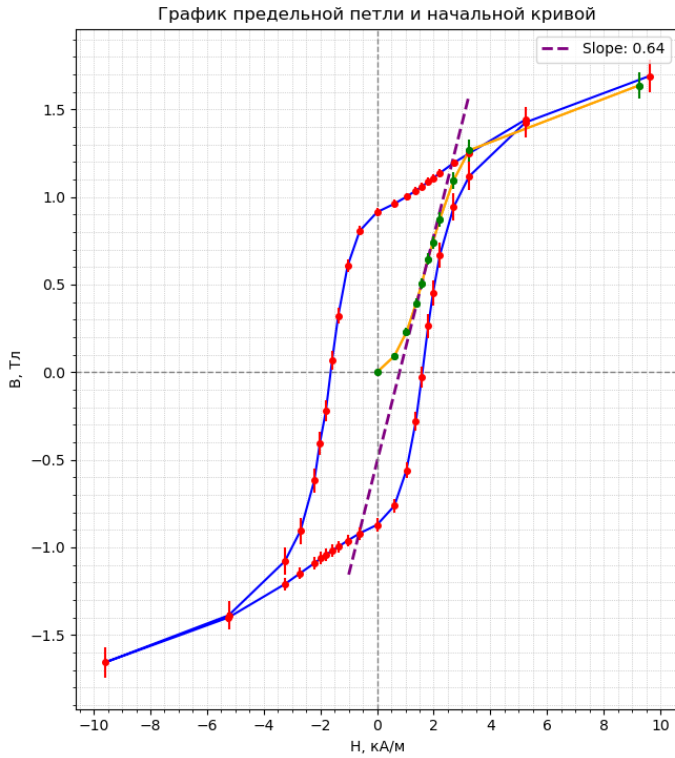


Рис. 6: Гистерезис с прямой максимального наклон

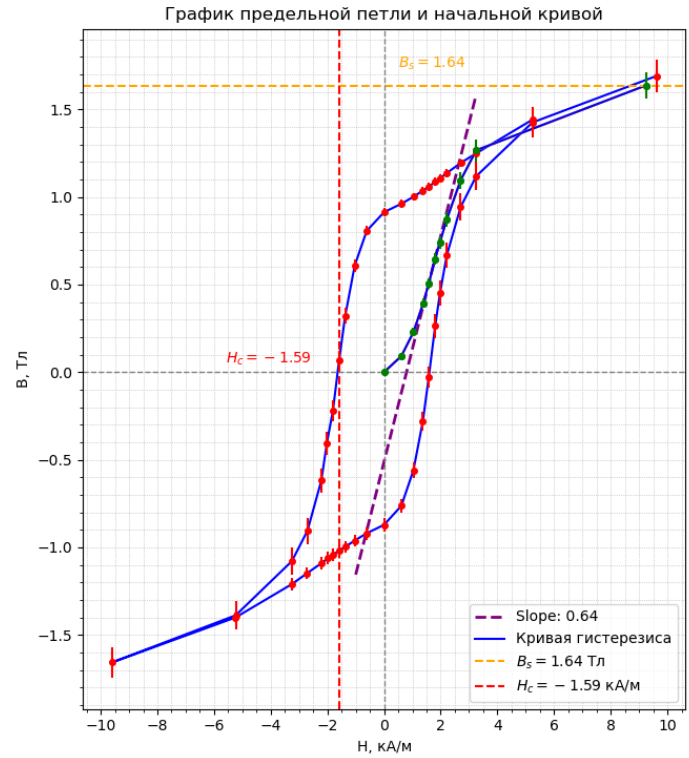


Рис. 7: Гистерезис с прямой и важными параметрами

- коэрцитивная сила H_c - значение напряжённости магнитного поля, необходимое для полного размагничивания ферромагнитного вещества равна длине отрезка, высекаемого петлёй гистерезиса на горизонтальной оси.

$$H_c = 1.59 \pm 0.02 \text{ кА/м}$$

- индукция насыщения B_s - максимально достижимое значение внутренней индукции магнитного материала при данной температуре.

$$B_s = 1.6 \pm 0.1 \text{ Тл}$$

- максимальная дифференциальная магнитная проницаемость $\mu_d = \frac{1}{\mu_0} \frac{dB}{dH}$ - характеризующий связь между магнитной индукцией B и напряжённостью магнитного поля H в веществе.

$$\mu_d = 510 \pm 10$$

Вывод

В ходе работы были исследованы петля гистерезиса магнитомягкого материала, его начальная кривая намагничивания, с хорошей точностью экспериментально определены некоторые магнитные свойства. В нашем случае тор был изготовлен из стали. Для обычной углеродной стали дифференциальная проницаемость может находиться в пределах от 100 до 1000. Так что можно сказать, что с материалом нас не обманули. Сталь обладает низким уровнем гистерезиса и высокой магнитной проницаемостью. Такие материалы быстро намагничиваются и размагничиваются, что делает их идеальными для использования в устройствах, где требуется частое переключение магнитных полей, например, в трансформаторах, электродвигателях и других электрических аппаратах.