

3.4.4 (128). ПЕТЛЯ ГИСТЕРЕЗИСА (СТАТИЧЕСКИЙ МЕТОД)

ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ

10 октября 2016 г.

В работе используются: генератор тока с источником питания, тороид, соленоид, баллистический гальванометр с осветителем и шкалой, мультиметр-амперметр, лабораторный автотрансформатор (ЛАТР), разделительный трансформатор.

К ферромагнетикам принадлежат железо, никель, кобальт, гадолиний, их многочисленные сплавы с другими металлами. К ним примыкают ферриты — диэлектрики со структурой антиферромагнетика.

Магнитная индукция B и напряжённость магнитного поля H в ферромагнитном материале неоднозначно связаны между собой: индукция зависит не только от напряжённости, но и от предыстории образца. Связь между индукцией и напряжённостью поля типичного ферромагнетика иллюстрирует рис. 1.

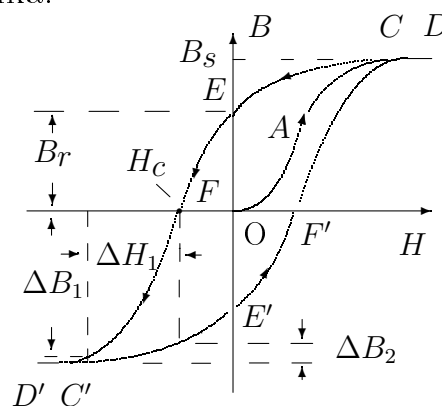


Рис. 1. Петля гистерезиса ферромагнетика

Экспериментальная установка. Схема для исследования петли гистерезиса представлена на рис. 4. К источнику постоянного напряжения (GPR) подключён специальный генератор, позволяющий скачками менять токи в намагничивающей обмотке. Одинаковые скачки ΔI ($\sim \Delta H$) вызовут разные отклонения зайчика гальванометра Δx ($\sim \Delta B$) на разных участках петли: на рис. 1 скачок ΔH_1 может дать и ΔB_1 на участке FD' , и ΔB_2 на участке $D'E'$. Поэтому генератор меняет ток неравномерно: большими скачками вблизи насыщения и малыми вблизи нуля.

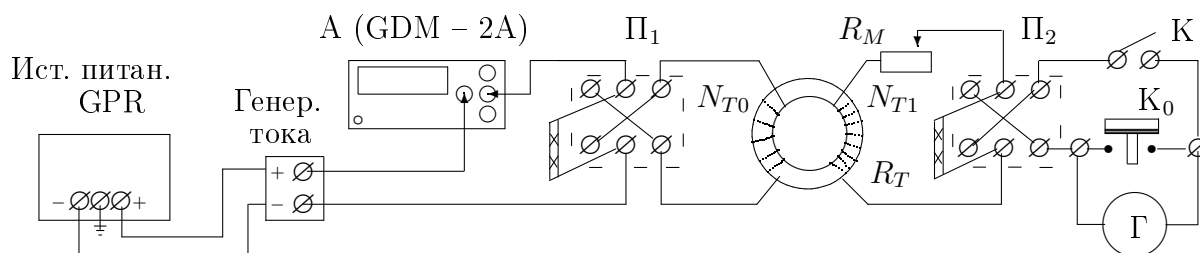


Рис. 4. Схема установки для исследования петли гистерезиса

Ток в намагничивающей обмотке измеряется цифровым мультиметром А. Переключатель Π_1 позволяет менять направление тока в первичной обмотке.

Чувствительность гальванометра Γ во вторичной цепи можно менять с помощью магазина сопротивлений R_M . Ключ K предохраняет гальванометр от перегрузок и замыкается только (!) на время измерения отклонений зайчика. Ключ K_0 служит для мгновенной остановки зайчика (короткое замыкание

гальванометра). Переключателем Π_2 можно изменять направление тока через гальванометр.

Схема на рис. 5 отличается от схемы на рис. 4 только тем, что вместо тороида подключён калибровочный соленоид.

Сопротивления измерительных цепей тороида ($R = R_T + R_M + R_0$) и соленоида ($R_1 = R_C + R'_M + R_0$) должны быть одинаковы.

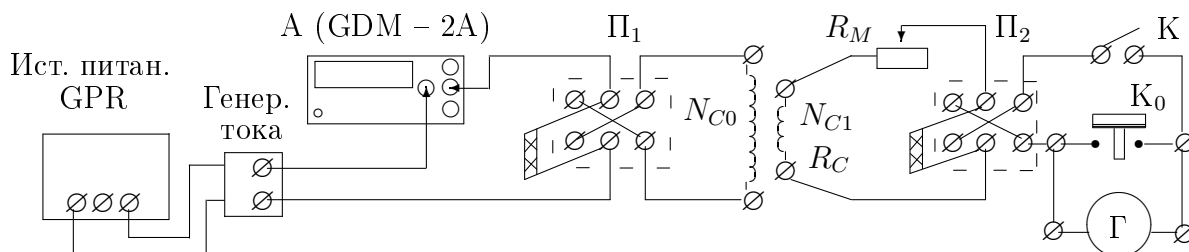


Рис. 5. Схема установки для калибровки гальванометра

Сопротивление тороида $R_T \ll R_0$ — сопротивления гальванометра, поэтому сопротивления магазина в схеме с тороидом и соленоидом отличаются на величину сопротивления соленоида R_C : $R'_M = R_M - R_C$.

Чтобы снять начальную кривую намагничивания, нужно размагнитить сердечник. Для этого тороид подключается к цепи переменного тока (рис. 6). При уменьшении амплитуды тока через намагничивающую обмотку от тока насыщения до нуля характеристики сердечника B и H «пробегают» за секунду 50 петель всё меньшей площади и в итоге приходят в нулевую точку.

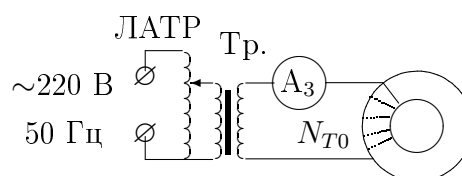


Рис. 6. Схема установки для размагничивания образца

Исследование петли. Измерения начинаются с максимального тока (точка C на рис. 1). Переключая тумблер генератора, следует фиксировать ток, соответствующий каждому положению тумблера, и отклонение зайчика Δx , соответствующее каждому щелчку тумблера. Дойдя до нулевого тока (точка E), следует при размыкании ключа Π_1 зафиксировать последний отброс гальванометра вблизи точки E . Следующий отброс — при замыкании ключа Π_1 . Ток вблизи нуля меняется мало, но скачки Δx обычно заметны. Это соответствует вертикальным участкам петли.

Поменяв направление тока в обмотке N_{T0} переключателем Π_1 , следует, увеличивая ток, пройти участок EC' до насыщения другого знака. В точке C' переключателем Π_2 следует поменять направление тока в обмотке N_{T1} , чтобы при движении по правой ветви петли зайчик отклонялся в ту же сторону. В точке E' при нулевом токе ещё раз ключом Π_1 изменяется направление тока в первичной обмотке, чтобы пройти участок $E'F'C$. Таким образом, измеряя шаг за шагом отклонения зайчика при изменениях тока, нужно пройти всю петлю гистерезиса.

Нельзя при замкнутом ключе К менять ток сразу на несколько щелчков тумблера или отключать ключ Π_1 при больших токах, т.к. при резком изменении тока можно повредить гальванометр.

При движении по петле ток должен меняться строго монотонно. Если случайно пропущен один отброс зайчика, нельзя вернуться назад на один шаг — это приведёт к искажению петли. Следует при разомкнутом ключе К вернуться к насыщению и начать обход петли сначала. При нарушении монотонности в измерении начальной кривой намагничивания образец снова надо размагничивать, а для предельной петли достаточно вернуться к насыщению. Вот почему измерения начинают с предельной петли.

ЗАДАНИЕ

В работе исследуются начальная (основная) кривая намагничивания и предельная петля гистерезиса для образцов тороидальной формы, изготовленных из чистого железа или стали.

I. Подготовка к работе

1. Соберите схему согласно рис. 4: предварительно расположите ключи так, чтобы удобно было снимать отсчёты; ключ Π_1 — ближе к амперметру; ключи Π_2 и К — ближе к ключу K_0 , куда подведены концы гальванометра. При сборке схемы и наладке первичной цепи тороида ключ К разомкнут (!).

Убедитесь, что генератор тока соответствует материалу сердечника. Установите переключатель генератора тока на минимальный ток (позиция 1).

2. После проверки схемы преподавателем включите в сеть источник питания, установите ток на максимум сначала ручкой «FINE» — плавно, затем «COARSE» — грубо, напряжение — на 24 В. Уменьшение сигнала проводится в обратном порядке (сначала грубо, затем плавно).

Ознакомьтесь с техническим описанием амперметра (GDM). Включите амперметр в сеть и установите режим работы: измерение постоянного тока — кнопка «DCA» нажата, автоматический режим — кнопка «AUTO/MAN» (при этом на дисплее внизу высвечивается надпись AUTO и DC, а справа — единицы измерения тока).

Не подключая гальванометра (ключ К разомкнут), проверьте, как меняется ток в первичной обмотке при переключении тумблера генератора тока, каково значение максимального тока.

Вернитесь к минимальному току.

3. Чувствительность гальванометра, при которой зайчик не зашкаливает, можно подобрать, меняя сопротивление магазина R_M . Установите начальное значение $R_M > R_C$ — сопротивления соленоида. Значения R_M и R_C указаны на установке.

Включите осветитель гальванометра. Шкалу можно установить так, чтобы нулевое положение зайчика было недалеко от края шкалы. 10-X-2016

Внимательно перечитайте раздел «Исследование петли».

4. Замкните ключ К. Сначала, не проводя записей, наблюдайте за отклонениями зайчика при каждом щелчке тумблера. Изменять ток следует только после того, как зайчик вернётся к начальному положению.

Аккуратно обойдите всю петлю, чтобы убедиться, что зайчик нигде не выходит за пределы шкалы. Как правило, самые большие скачки Δx происходят на участках EF и $E'F'$.

Если зайчик вышел за пределы шкалы — разомкните ключ К и, увеличив сопротивление R_M , начните обход петли сначала.

Если зашкаливания не произошло, и максимальное отклонение Δx близко к концу шкалы — приступайте к измерениям.

II. Предельная петля гистерезиса

5. Измерение петли начните с максимального тока намагничивания. Отмечайте величину тока I , соответствующую каждой позиции тумблера генератора (I , а не ΔI), и отклонения зайчика Δx , соответствующие каждому щелчку.

Не забудьте, что при изменении полярности тока вблизи точки E (тумблер в позиции 1) следует фиксировать отклонения зайчика как при размыкании, так и при замыкании ключа Π_1 .

Завершив полный замкнутый цикл, разомкните ключ К. Уменьшив ток до нуля, разомкните ключ Π_1 .

Проверьте, что суммы всех отклонений по верхней и нижней частям петли одинаковы. Если расхождение превышает 10%, пройдите цикл снова.

III. Калибровка гальванометра

6. Соберите схему согласно рис. 5. Для этого достаточно в схеме, изображённой на рис. 4, вместо тороида подключить соленоид с измерительной катушкой.

Уменьшите на магазине сопротивлений значение R_M на величину R_C : $R'_M = R_M - R_C$.

Установите тумблер генератора тока на максимум тока (в крайнее правое положение) и, замкнув ключ Π_1 , запишите значение тока I_{\max} .

Подключите гальванометр (ключ К). Размыкая ключ Π_1 , измерьте отклонение гальванометра Δx_1 , возникшее при изменении тока $\Delta I_1 = I_{\max}$.

Формула (6) позволяет выразить изменение магнитной индукции через отношение $\Delta I_1/(\Delta x_1)$ и величину Δx .

IV. Начальная кривая намагничивания

7. Начальную кривую намагничивания (участок OAC на рис. 1) можно снять по той же схеме (рис. 4), если предварительно размагнитить тороид в цепи переменного тока. Для этого соберите схему, изображённую на рис. 6, на отдельном столе: обмотку N_{T0} тороида подключите через амперметр переменного тока к выходу разделительного трансформатора Тр. Включите ЛАТР в сеть и установите ток, соответствующий насыщению ($I \simeq 3$ А). Ручкой ЛАТРа медленно (за 5-10 с) уменьшайте ток до нуля. Образец размагнитен. Отключите ЛАТР от сети и отсоедините тороид.

8. Вновь подсоедините тороид к цепи, изображённой на рис. 4. Установите тумблер генератора на минимальный ток (позиция 1) и снимите начальную кривую намагничивания, скачками увеличивая ток от нуля до I_{\max} . Напомним, что первый отброс даёт замыкание ключа Π_1 . В случае сбоя в измерениях образец надо снова размагнитить.
- Дойдя до максимального тока, разомкните ключ K .
9. Запишите параметры установки: R_M и R'_M — для контроля; сопротивление гальванометра $R_0 \simeq 50 \text{ Ом}$ ¹; размеры тороида: $d_T = 1 \text{ см}$, $D = 10 \text{ см}$. Количество витков тороида и параметры соленоида указаны на установке.
10. Отключите питание и разберите схему.

Обработка результатов

1. Используя формулы (2) и (6), получите зависимости

$$\mathbf{H} \text{ (А/м)} = f_1[I \text{ (А)}] \text{ и } \Delta \mathbf{B} \text{ (Тл)} = f_2[\Delta x \text{ (мм)}].$$

2. Постройте петлю гистерезиса $\mathbf{B} = f(\mathbf{H})$. Для выбора масштаба просуммируйте все скачки ΔB или Δx по левой части петли и все скачки по правой части. Убедитесь, что суммы совпадают.

Построение удобно начать с максимального значения \mathbf{H} (точка C или C' на рис. 1). Переход к следующему значению \mathbf{H} соответствует первому скачку ΔB и т.д. Отложив все ΔB по одной стороне петли и дойдя до насыщения, постройте вторую сторону таким же образом.

Найдите середину петли и проведите ось $\mathbf{H}(I)$.

3. Постройте начальную кривую намагничивания на том же графике.
4. Определите по графику коэрцитивную силу H_c и индукцию насыщения B_s .
5. Определите максимальное значение дифференциальной магнитной проницаемости $\mu_{\text{диф}}$ для начальной кривой намагничивания:

$$\mu_{\text{диф}} = \frac{1}{\mu_0} \frac{dB}{dH}.$$

6. Сведите экспериментальные результаты в таблицу:

	Эксперим.	Справочн.
$H_c, \frac{\text{А}}{\text{м}}$		
$B_s, \text{Тл}$		
$\mu_{\text{диф}}$		

7. Оцените погрешности. Сравните результаты со справочными.

Исправлено 10-Х-2016 г.

¹ См. на установке.