

Скин эффект

Каспаров Николай, Б01-304

December 14, 2024

Цель работы: исследовать явление проникновение переменного магнитного поля в медный полый цилиндр

В работе используются: Генератор сигналов; соленоид, намотанный на полый цилиндрический каркас; медный экран в виде полого цилиндра; измерительная катушка; амперметр; вольтметр; двухканальный осциллограф; RLC-метр.

1 Ход работы

Параметры установки:

$$a + h = (45.0 \pm 0.1) \text{ мм}$$

$$h = (1.5 \pm 0.1) \text{ мм}$$

$$\sigma \approx (5 \cdot 10^7) \frac{\text{СМ}}{\text{М}}$$

$$\nu = (2250 \pm 5) \text{ Гц}$$

1.1 Измерения амплитуд в области низких частот

В области низких частот толщина скин-слоя превосходит толщину образца $\delta \gg h$:

$$\left(\frac{|H_1|}{|H_0|} \right)^2 = (\xi_0 \xi)^2 \approx \frac{1}{1 + \left(\frac{ah}{\delta^2} \right)^2} = \frac{1}{1 + (\pi a h \nu \mu_0 \sigma)^2} \quad (1)$$

Тогда:

$$\frac{1}{\xi^2} = \xi_0^2 B^2 \nu^2 + \xi_0^2, \text{ где } B = \pi a h \sigma \mu_0 \quad (2)$$

Получаем следующие значения: $\xi_0^2 B^2 = (0.175 \pm 0.002)$, $\xi_0^2 = (5135 \pm 15)$, тогда:

$$\xi_0 = (72 \pm 6) \frac{\text{Гц}}{\text{Ом}}, \quad \sigma = (4.5 \pm 0.4) \cdot 10^7 \frac{\text{СМ}}{\text{М}}$$

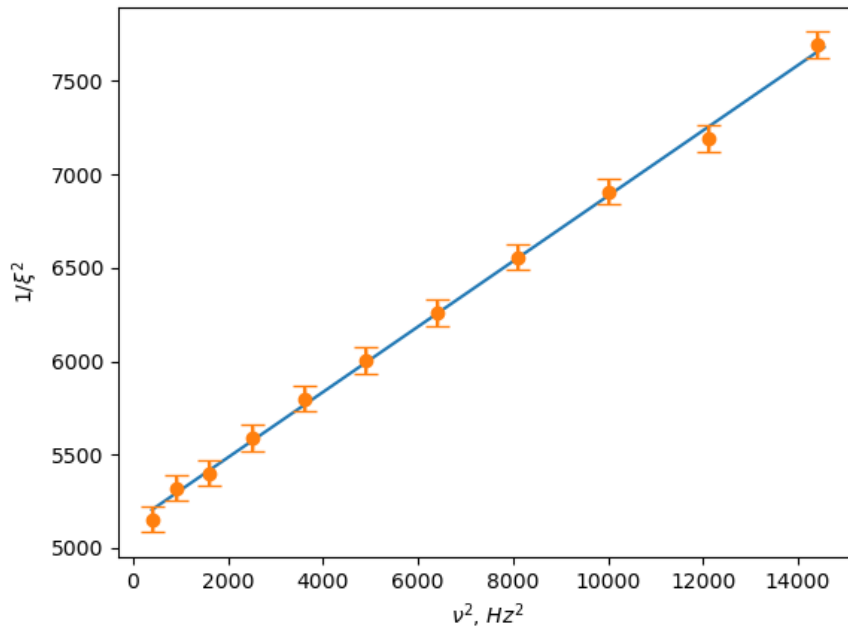


Рисунок 1: График зависимости $1/\xi^2(\nu)$

1.2 Измерение проводимости через разность фаз в низкочастотном диапазоне

Построим график $\tan \psi(\nu)$ по тем точкам, для которых он хорошо аппроксимируется прямой

$$\tan \psi = k \cdot \nu$$

$$k = \pi a h \sigma \mu_0$$

Отсюда получаем:

$$\sigma = (3.5 \pm 1.5) \cdot 10^7$$

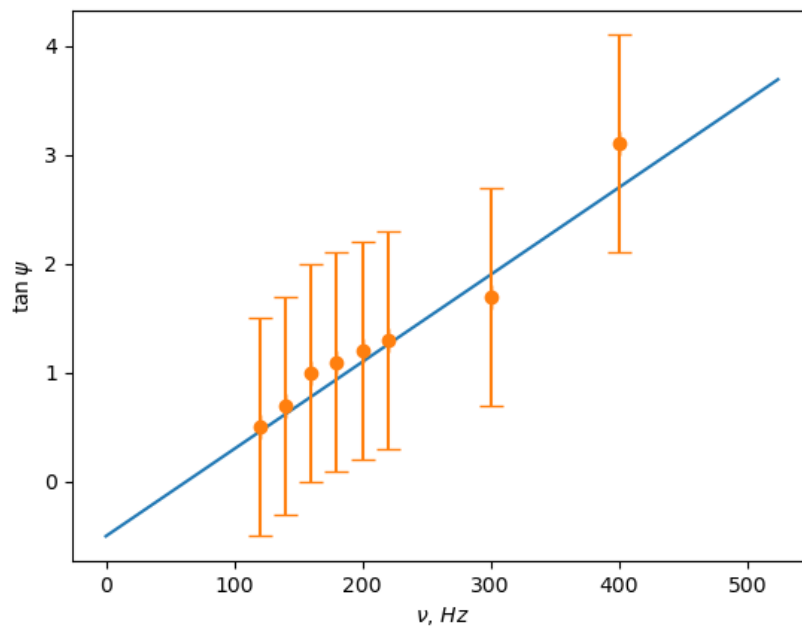


Рисунок 2: График зависимости $\tan \psi(\nu)$

1.3 Измерение проводимости через изменение индуктивности

Измерить проводимость можно также через изменение индуктивности катушки внутри цилиндра

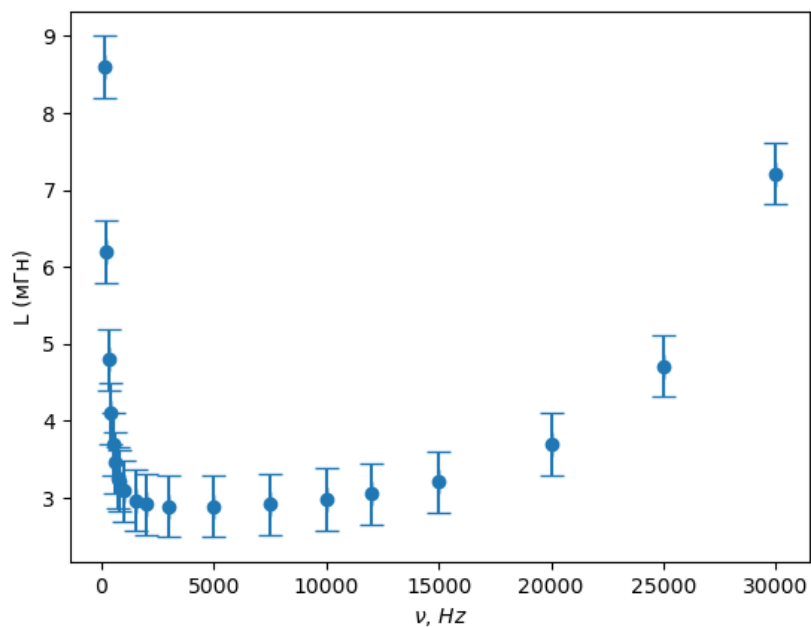


Рисунок 3: График зависимости $L(\nu)$

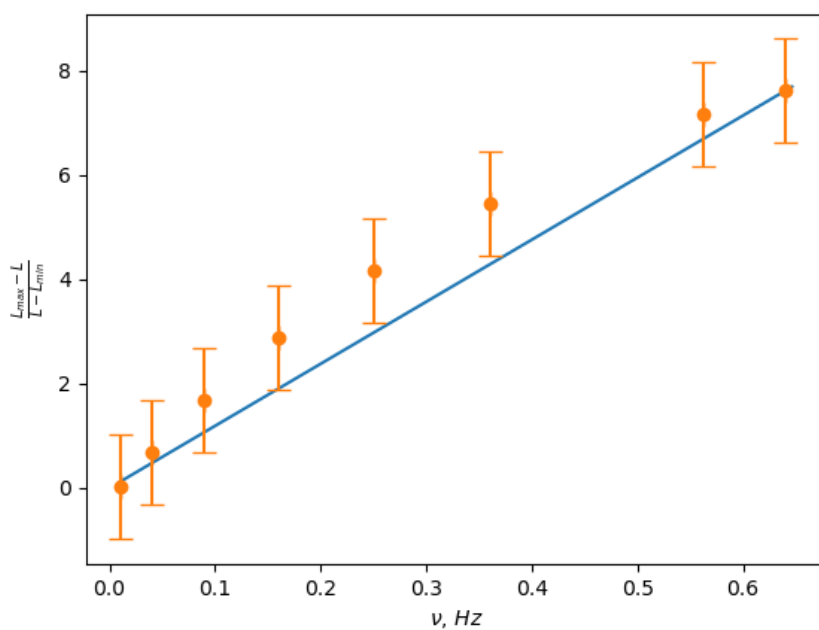


Рисунок 4: График зависимости $\frac{L_{max}-L}{L-L_{min}}(\nu^2)$

$$L_{min} = 2.8 \text{ мГн}$$

$$L_{max} = 8.6 \text{ мГн}$$

То есть коэффициент наклона графика

$$k = (\pi a h \mu_0 \sigma)^2 \rightarrow \sigma = \frac{\sqrt{k}}{\pi a h \mu_0}$$

Подставляя полученные значения, получаем:

$$\sigma = (4.3 \pm 0.2) \cdot 10^7 \frac{\text{С}_\text{М}}{\text{м}} \quad (3)$$

2 Вывод

В ходе работы был исследован процесс проникновения переменного магнитного поля в медный полый цилиндр, и экспериментально определены значения удельной проводимости σ меди тремя различными методами. Результаты измерений представлены в таблице:

| Метод определения | Полученное значение σ , $10^7 \frac{\text{С}_\text{М}}{\text{м}}$ | Погрешность, % |
|----------------------------|--|----------------|
| По амплитудам | 4.5 | 9 |
| По фазовому сдвигу | 3.5 | 43 |
| По изменению индуктивности | 4.3 | 5 |

Таблица 1: Сравнение методов определения удельной проводимости σ

Наиболее точным оказался метод измерения удельной проводимости через изменение индуктивности катушки внутри цилиндра, так как он дал наименьшую относительную погрешность ($\pm 5\%$). Метод измерения через амплитуды также показал приемлемый результат, близкий к табличному значению $\sigma \approx 5 \cdot 10^7 \frac{\text{С}_\text{М}}{\text{м}}$, с относительной погрешностью 9%.

Наибольшая погрешность наблюдается при определении σ через разность фаз ($\pm 43\%$), что можно объяснить крайне неточным методом измерения фазового сдвига.

Таким образом, полученные результаты совпали по порядку с табличным значением σ .