

# 第3学年 電気電子工学実験実習報告書

## 4 強磁性体のヒステリシス現象

---

実験日 令和4年5月12日(木)  
令和4年5月17日(木)

班 4	学生番号 3333	氏名 宮崎 永
--------	--------------	------------

共同実験者名

野島 奏一朗 吉野 曹生 谷下 文紀

---

提出日			備考	評価
予定日 /				
提出日				

# 1 目的

本実験では

- トランス鉄心に使用される強磁性体のB-H特性測定を通じ磁気回路と磁性材料について理解する。
- 変圧器鉄心の交流化特性を測定し、測定原理と鉄心のヒステリシス損算出法を理解する。
- 変圧器における励磁電流、電力、位相差の変化を観測する。

ことを目的とする。

# 2 原理

## 2.1 磁気回路

図1に示すように断面積  $S$  [m<sup>2</sup>]、平均磁路長  $L$  [m] の鉄心に巻数  $N_1$  [Turn] のコイルを巻き、これに  $I$  [A] の電流を流すと、起磁力  $N_1 \cdot I$  [A · Turn] を生じる。この起磁力により

$$\phi = \frac{N_1 \cdot I}{R_m} \quad (1)$$

の磁束  $\phi$  [Wb] を生じる。ここで  $R_m$  は以下に示す磁気抵抗である。

$$R_m = \frac{L}{\mu_0 \mu_s S} \quad (2)$$

ただし、 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  F/m は真空の透磁率であり、 $\mu_s$  は鉄心の比透磁率である。ここで、磁路 1 mあたりの起磁力を磁化力  $H$  [A/m] という。磁化力  $H$  は

$$H = \frac{N_1 \cdot I}{L} \quad (3)$$

である。また磁路断面積 1 m<sup>2</sup>あたりの磁束を、磁束密度  $B$  [Wb/m<sup>2</sup>] という。

$$B = \frac{\phi}{S} \quad (4)$$

ここで、 $S$  [m<sup>2</sup>] は磁路断面積を示す。

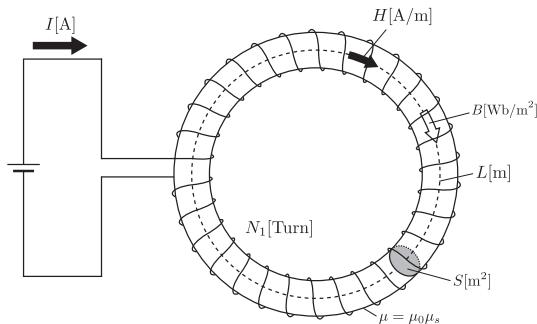


図 1: 磁気回路

鉄心の磁化力  $H$  と磁束密度  $B$  との関係を示す曲線を B-H 曲線といい、一般に図2(a)のような飽和特性になる。また磁化力  $H$  を正負の方向に増減すると、図2(b)の様なヒステリシス曲線になる。

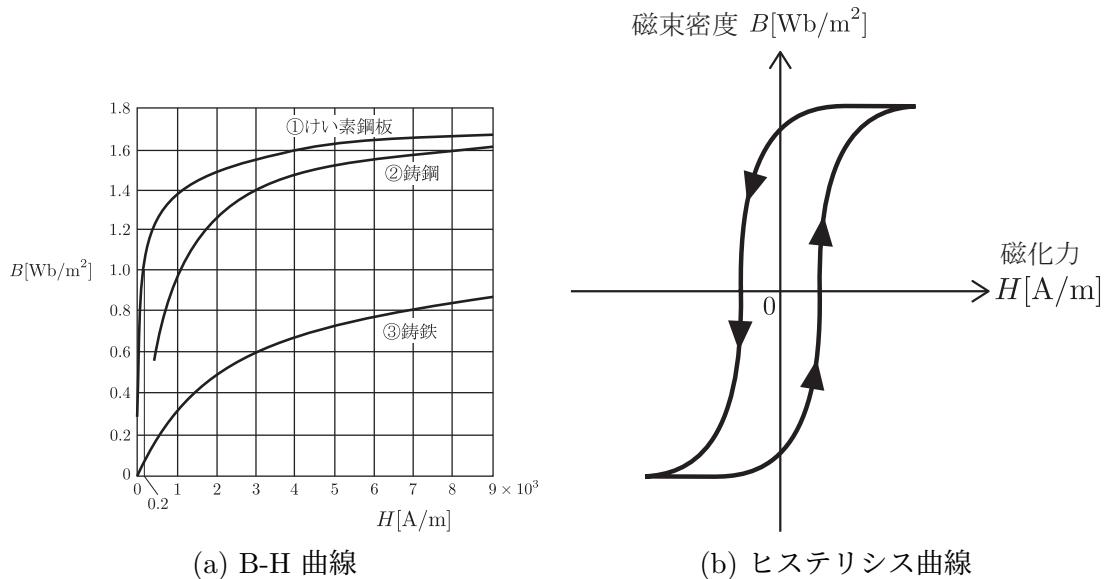


図 2: B-H 曲線とヒステリシス曲線

## 2.2 交流磁化特性

図 3 の変圧器のように、鉄心に巻かれた巻数  $N_1$  のコイルに交流電圧  $V_1$  を加えると、鉄心中に交番磁束  $\phi$  を作るための電流（励磁電流） $i_0$  が流れる。このとき磁束密度  $B$  と磁化力  $H$  との間にはヒステリシス特性があるため、励磁電流は図 4 のようにひずみを生ずる。この現象を逆に利用して、励磁電流  $i_0$  と交番磁束  $\phi$  の波形をなんらかの方法で取り出し、オシロスコープの X 軸に励磁電流  $i_0$  の波形、Y 軸に交番磁束  $\phi$  の波形を入力すれば、オシロスコープの画面に鉄心のヒステリシス特性（B-H 曲線）が描かれる。

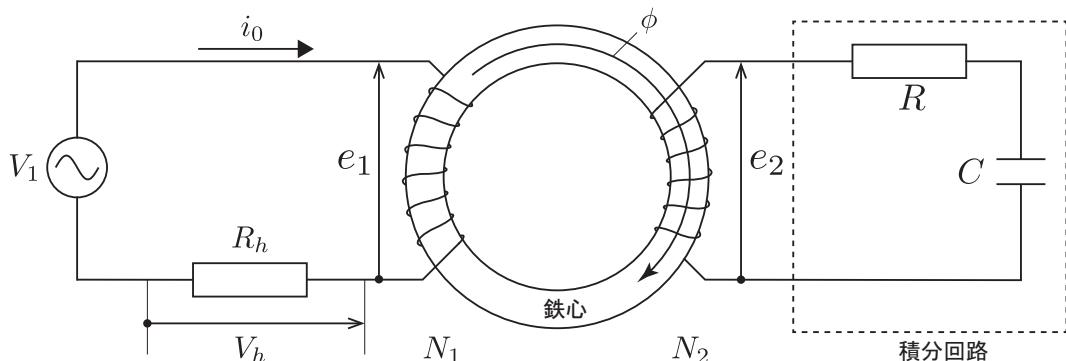


図 3: 変圧器の交流磁化特性測定回路

励磁電流  $i_0$  の波形を直接取り出すのは難しいので、図 3 において励磁電流  $i_0$  が抵抗  $R_h$  を流れるとときの電圧変化、すなわち

$$V_h = i_0 R_h \quad (5)$$

として取り出す。また、交番磁束  $\phi$  は次の様にして取り出す。

図 3 において二次巻線  $N_2$  と鎖交する磁束の時間に対する変化が二次誘起電圧  $e_2$  として現れるから

$$e_2 = -N_2 \frac{d\phi}{dt} \quad (6)$$

となり、式 (6) を変形すると

$$d\phi = \frac{1}{N_2} \times e_2 \times dt \quad (7)$$

となるから、交番磁束  $\phi$  は式(7)を積分すれば求まることとなる。すなわち、二次巻線に発生する電圧  $e_2$  を時間で積分すればよい。そこで二次側に CR 積分回路を接続しコンデンサ C の両端から  $e_2$  を積分した、交番磁束に比例した電圧をとりだす。

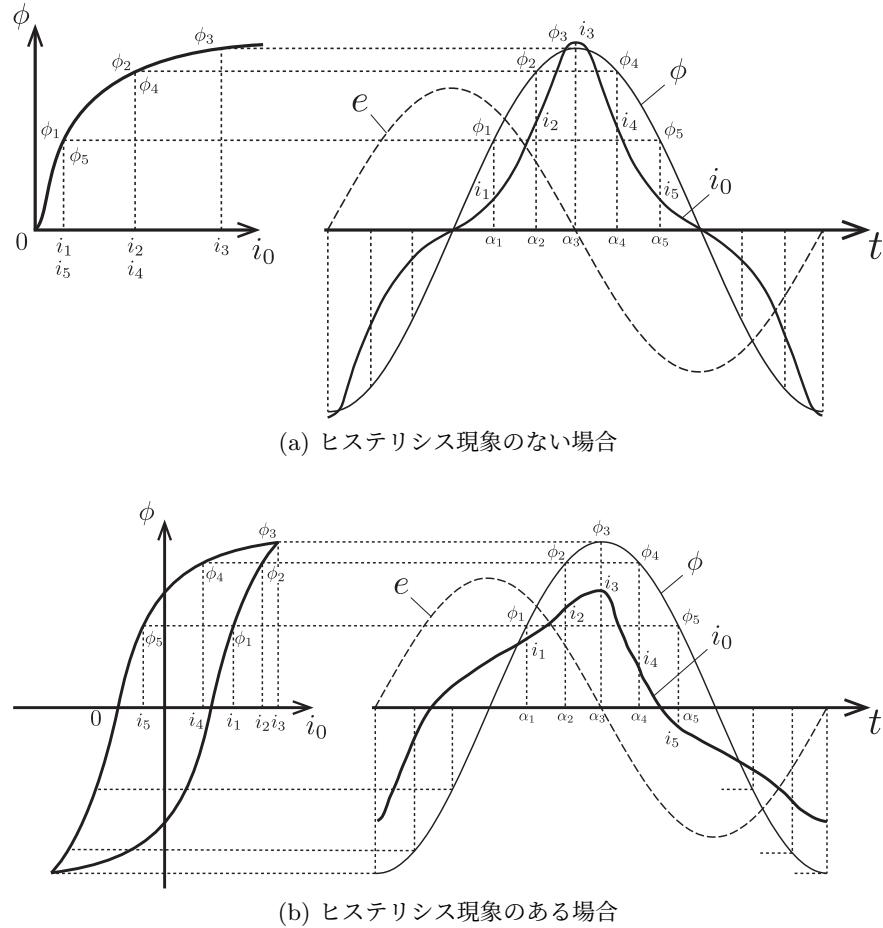


図 4: ヒステリシス現象

### 3 方法

#### 3.1 使用器具

今回の実験で使用した器具を表 1 に示す。また、これらの器具を用いてのように配線を行った回路を図 5 と図 6 に示す。

表 1: 使用器具

使用器具	製造元	型番
電圧計	YEW	TYPE2013
電流計	YOKOGAWA	TYPE2013
低力率用力率計	YOKOGAWA	MODEL 2041
スライダートランス	東京理工舎	RSA-2
オシロスコープ	KEYSIGHT	MSO-X 2004A
ヒステリシス曲線直視回路セット	不明	不明

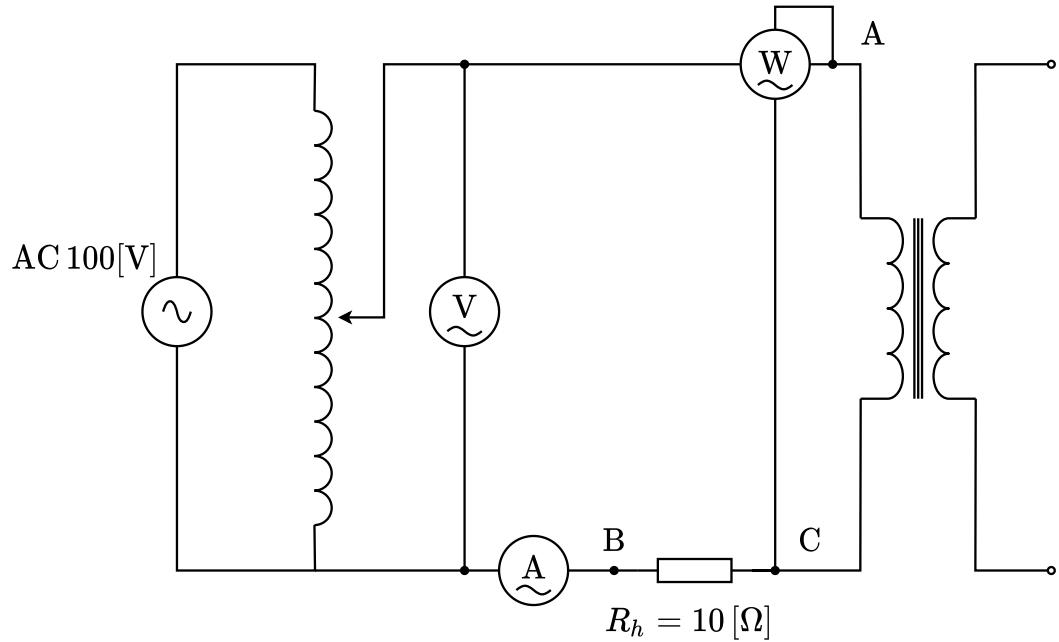


図 5: 実験回路 (積分回路なし)

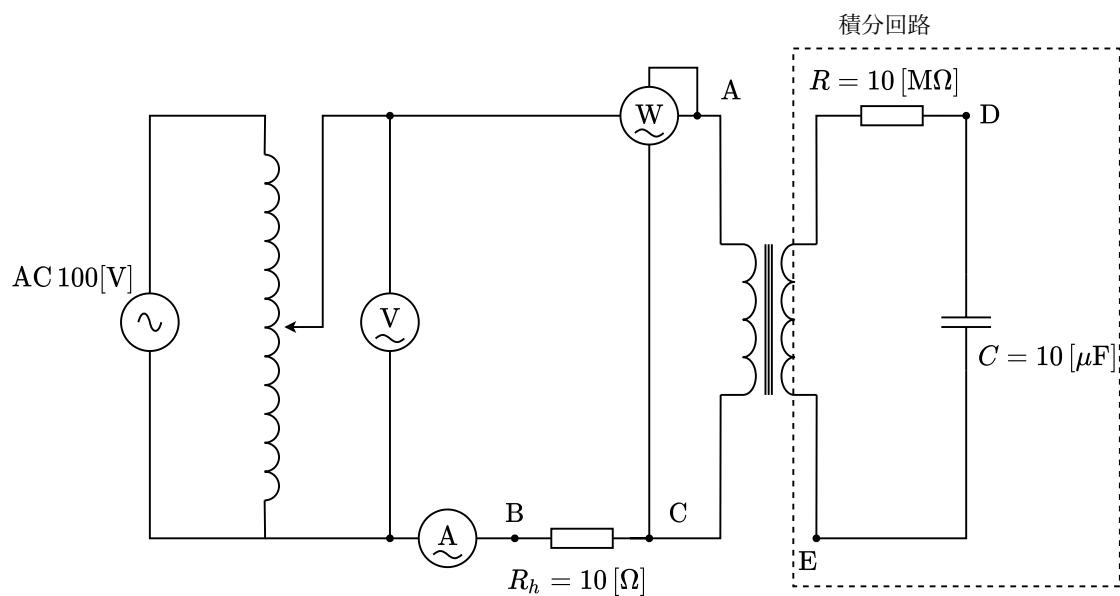


図 6: 実験回路 (積分回路あり)

### 3.2 実験手順

本実験では、励磁電流及び電力、位相差の測定及び交流磁化特性の測定を行った。次にそれぞれの実験手順を示す。

#### 3.2.1 励磁電流及び電力、位相差の測定

- 1) 図 5 に示した回路のように、各種計器とスライダック、ヒステリシス曲線直視回路セットオ及びトランジスタを接続した。
- 2) スライダックの電圧を 0V に設定し、オシロスコープのプローブを次のように接続した。
  - CH1 の GND を図 5 の C 点
  - CH1 のプローブを図 5 の A 点
  - CH2 の GND を図 5 の C 点
  - CH2 のプローブを図 5 の B 点
- 3) 入力電圧を 75V から 100V まで 5V 刻みで変化させ、それぞれ電流と有効電力を測定した。
- 4) 入力電圧が 80V と 100V の時はオシロスコープで波形を観測し、USB に保存した。なお、オシロスコープは反転モードに設定する。

#### 3.2.2 交流磁化特性の測定

- 1) 図 6 に示した回路のように、各種計器とスライダック、ヒステリシス曲線直視回路セット及びトランジスタを接続した。
- 2) スライダックの電圧を 0V に設定し、オシロスコープのプローブをそれぞれ次のように接続した。
  - ch1 の GND を図 6 の C 点
  - ch1 のプローブを図 6B 点
  - ch2 を GND を図 6E 点
  - ch2 のプローブを図 6 の D 点
- 3) 入力電圧を 80V と 100V の時はオシロスコープで波形を観測し、USB に保存した。

## 4 結果

### 4.1 励磁電流及び電力、位相差の測定結果

表 2: 励磁電流及び電力の測定結果

電圧 $v$ [V]	電流 $i_0$ [A]	電力 $P_0$ [W]	位相差 $\theta$ [deg]
75	41	0.9	72.9813526
80	45	1	73.87237979
85	49.5	1.1	74.84460034
90	54.5	1.3	74.63092721
95	60	1.4	75.78187581
100	66	1.6	75.9703346

表 3 は、励磁電流及び電力の測定結果である。それぞれの位相差  $\theta$ [deg] は次の式を用いて導出した。

$$\cos \theta = \frac{P_0}{v \cdot i_0} \quad (8)$$

$$\theta = \arccos \left( \frac{P_0}{v \cdot i_0} \right) \quad (9)$$

## 5 考察

### 5.1 課題

#### 5.1.1 励磁電流の作図

#### 5.1.2 ヒステリシス曲線の面積の算出

#### 5.1.3 ヒステリシス損の算出

### 5.2 考察

#### 5.2.1 励磁電流の役割

変圧器の二次側に起電力を誘起

- 5.2.2 励磁電流がひずむ理由
- 5.2.3 電圧が変化したときのヒステリシス損失
- 5.2.4 電圧が変化したときの渦電流損
- 5.2.5 周波数が変化したときのヒステリシス損失
- 5.2.6 周波数が変化したときの渦電流損
- 5.2.7 電力系の測定損失とヒステリシス損失の比較
- 5.2.8 変圧器の鉄心用珪素鋼板について

## 6 結論

### 参考文献

- [1] 著者名, 書名, 出版社, 発行年.