

(2) 変圧器の損失と効率

重要事項(これを理解します)

- 1, 鉄損と銅損について理解します。
- 2, 変圧器の効率計算を学びます。
- 3, 変圧器の最大効率について学びます。

【例題(よく出る問題)】:

変圧器の鉄損に関する記述として、正しいものは。

- イ. 電源の周波数が変化しても鉄損は一定である。
- ロ. 鉄損はうず電流損より小さい。
- ハ. 鉄損はヒステリシス損より小さい。
- ニ. 一次電圧が高くなると鉄損は増加する。

【例題(よく出る問題)の解答】ニ

【例題(よく出る問題)の模範解答】

鉄損は、うず電流損とヒステリシス損の和からなります。

うず電流損 W_e [W/kg]は、次の式から計算されます。

$$W_e = \beta f^2 B_m \quad [\text{W/kg}]$$

ここで、 β は、鉄心の板厚で決まる定数、 f [Hz]は、電源周波数、 B_m [Wb/m²]

は、磁束密度です。

また、ヒステリシス損 W_h [W/kg]は、

$$W_h = \alpha f B_m^2 \quad [\text{W/kg}]$$

となります。ここで、 α は、鉄心材料で決まる常数です。

よって、鉄損 W_i [W/kg]は、

$$W_i = W_e + W_h \quad [\text{W/kg}]$$

となります。

また、磁束密度 B_m [Wb/m²]は、電源電圧に比例します。

ゆえに、選択肢は、二となります。

【解法の準備】

例題を解くために次のことを学びます。

1, 鉄損とは

鉄損とは、変圧器に電圧を印加するだけで発生する損失です。そして、発生する場所は、鉄心内部です。すなわち鉄心内部で発生するから鉄損と呼ばれま

す。そして、鉄損は、印加電圧が高くなると損失も増加します。多くの場合、印加電圧は、一定ですから、鉄損は、一定と考えて問題を計算します。ただし、電圧を印加しない場合は、当然ゼロです。

2 , 銅損とは

鉄損に対して銅損は、負荷電流によって増減します。何故かと言いますと、銅損の正体が、巻線に流れる電流 I [A]で巻線内の抵抗 R []に発生するジュール熱 Q [J]だからです。

$$Q = I^2 R t \quad [J]$$

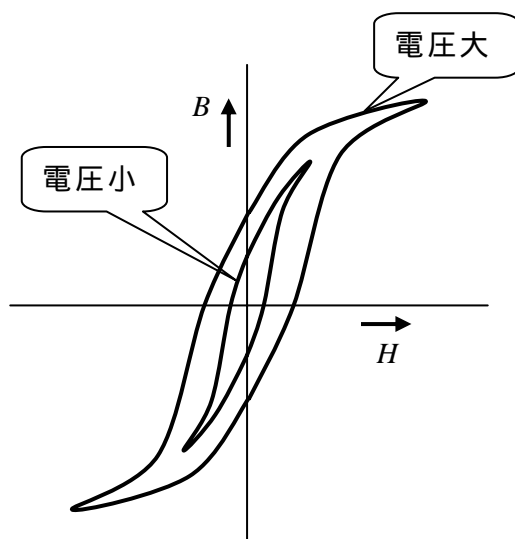
ここで、 t [s]は、電流の流れる時間です。

さて電源電圧は、一定ですから、銅損は、負荷容量 P [W]の 2 乗に比例するとも言うことができます。

$$Q = I^2 R t \propto I^2 \propto P^2$$

3 , ヒステリシス損とは

鉄心は、下図の磁化曲線を描きます。 B [Wb/m²]は、磁束密度で、 H [A/m]は、磁界の強さです。この曲線をヒステリシス曲線と言います。



このヒステリシス曲線は、電源の 1 サイクルに一回描かれます。そして、ヒステリシス曲線の大きさは、電源電圧に比例します。

さて、ヒステリシス損は、このヒステリシス曲線によって、発生します。すなわち、電源周波数と電源電圧に比例するのです。

式で表すと、ヒステリシス損 W_h [W/kg]は、

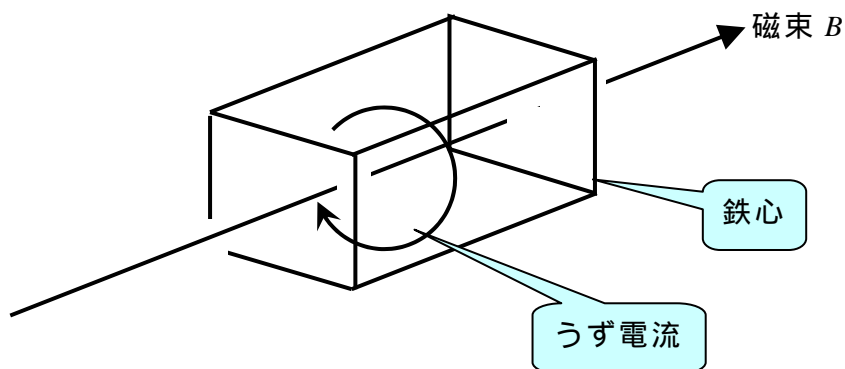
$$W_h = \alpha f B_m^2 \quad [\text{W/kg}]$$

となります。(この式は、無理に覚える必要ありません)

ここで、 α は、鉄心材料で決まる常数、 f [Hz]は、電源周波数、 B_m [Wb/m²]は、磁束密度です。

4. ^{うず}渦電流損とは

うず電流損は、ヒステリシス損と同じように鉄心の中で発生します。どのように発生するか説明した図が、下図です。



鉄心の中に磁束密度 B [Wb/m²]が通ると

その磁束の周りに電流が流れます。その電流は、うず電流と言います。このうず電流が流れることでジュール熱を発生します。そのジュール熱が損失となります。

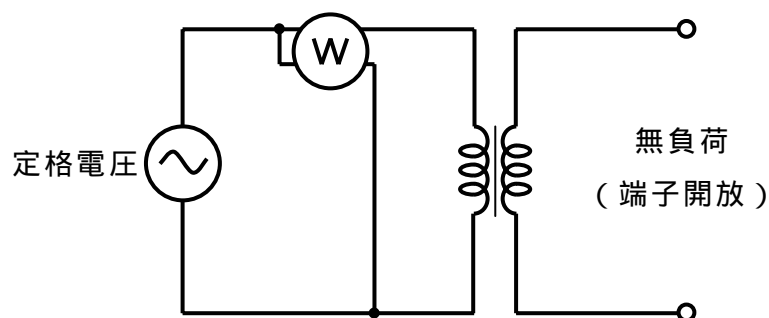
うず電流損 W_e [W/kg]は、次の式から計算されます。

$$W_e = \beta f^2 B_m \quad [\text{W/kg}]$$

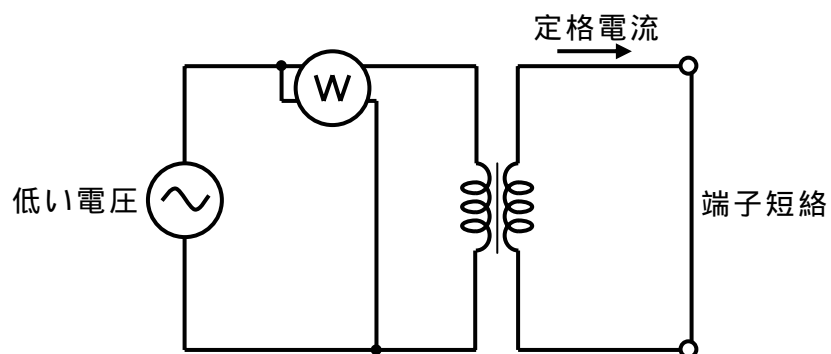
ここで、 β は、鉄心の板厚で決まる定数、 f [Hz]は、電源周波数、 B_m [Wb/m²]は、磁束密度です。

5. 鉄損と銅損の測定方法とは

さて、鉄損ですが、上に述べたように電圧を印加すると発生します。そのため、鉄損の測定は、変圧器を無負荷の状態で行われます。無負荷試験です。

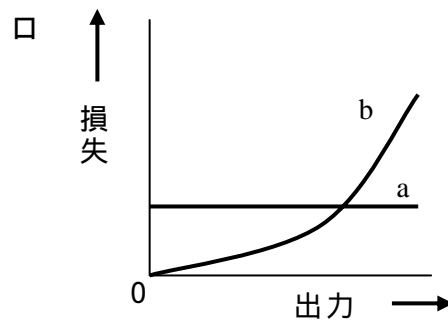
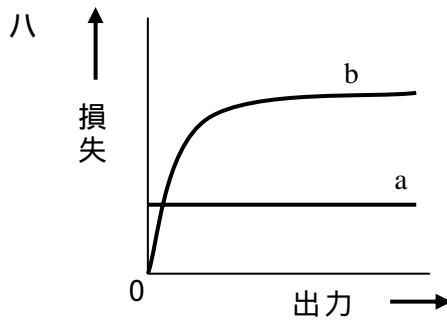
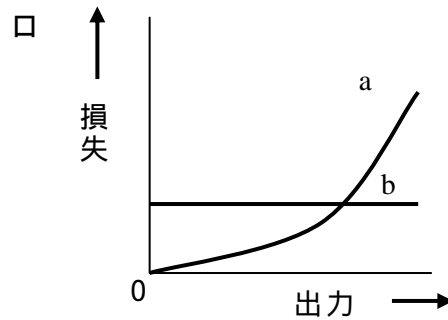
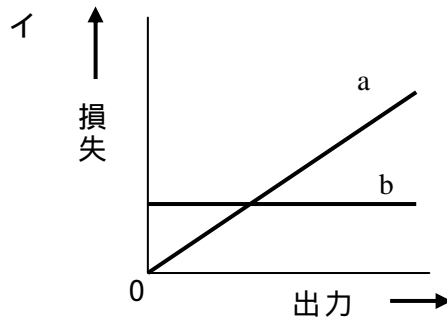


つぎに、銅損は、負荷電流が流れることで発生します。そのため、銅損の測定は、変圧器を短絡して、定格電流に等しい短絡電流を流すことで損失の電力を測定されます。この試験を短絡試験と言います。



【確認問題 1】

変圧器の出力に対する損失の特性曲線について、a が鉄損、b が銅損を表す特性曲線として、適切なものは。



【確認問題 1 の回答】ニ

【確認問題 1 の解説】

変圧器の鉄損 a は、印加電圧により決まります。そのため、通常は、印加電圧が一定ですから、鉄損 a も一定です。

銅損は b、電流によって決まります。銅損の正体は、何かというとジュール熱 I^2R [J] です。そのため、銅損 b は、電流（出力）の 2 乗になります。

【確認問題 2】

変圧器の損失に関する記述として誤っているものは。

- イ．無負荷損の大部分は鉄損である。
- ロ．負荷電流が 2 倍になれば銅損は 2 倍になる。
- ハ．銅損は短絡試験によって測定できる。
- ニ．銅損と鉄損が等しいときに効率が最大となる。

【確認問題 2 の回答】口

【確認問題 2 の解説】

銅損 p_c [W]は、負荷電流 I [A]の 2 乗に比例します。また、負荷容量 P_L [W]の 2 乗とも比例します。

$$p_c \propto I^2 \propto P_L^2$$

よって、選択肢は、口となります。

6. 変圧器の効率と最大効率とは

変圧器の効率は、次のように計算されます。

$$\text{変圧器の効率} \eta = \frac{\text{出力} P_2 [\text{kW}]}{\text{入力} P_1 [\text{kW}]} \times 100 = \frac{\text{出力} P_2 [\text{kW}]}{\text{出力} P_2 [\text{kW}] + \text{損失} p [\text{kW}]} \times 100 \quad [\%]$$

またここで、損失 p [kW]は、ほとんどが鉄損 p_i [kW]+銅損 p_c [kW]ですから、

$$\text{変圧器の効率} \eta = \frac{\text{出力} P_2 [\text{kW}]}{\text{出力} P_2 [\text{kW}] + \text{鉄損} p_i [\text{kW}] + \text{銅損} p_c [\text{kW}]} \times 100 \quad [\%]$$

もし、定格出力 P_n [kW]の時、銅損が p_{cn} [kW]で出力 P_2 [kW]の効率を計算するときは、

$$\text{変圧器の効率} \eta = \frac{\text{出力} P_2 [\text{kW}]}{\text{出力} P_2 [\text{kW}] + \text{鉄損} p_i [\text{kW}] + \left(\frac{P_2}{P_n}\right)^2 \text{銅損} p_{cn} [\text{kW}]} \times 100$$

[%]

となります。

また、変圧器の効率が最大になるのは、

$$\text{鉄損} p_i [\text{kW}] = \left(\frac{P_2}{P_n}\right)^2 \text{銅損} p_{cn} [\text{kW}]$$

の時です。

すなわち、銅損と鉄損が等しいときに効率が最大となります。

その時の出力 P_2 [kW]を計算させる問題が出るかもしれませんね。

キーワード

鉄損、銅損、変圧器の効率、最大効率

これがポイント

- コツ 1、銅損の量は、負荷電流（負荷容量）の 2 乗に比例します。
- コツ 2、鉄損の量は、変圧器の使用時間で決まります。
- コツ 3、変圧器の効率計算は、公式を覚えてください。
- コツ 4、最大効率の条件を覚えてください。

復習

- 1、銅損や鉄損は、どのような損失か説明できますか。
- 2、銅損や鉄損を測定する方法を説明できますか。
- 3、変圧器の効率の公式は、覚えましたか。

アドバイス

練習問題

【問 1】

鉄損が 0.5[kW]、全負荷時の銅損が 1.2[kW]の変圧器がある。この変圧器を 1 日のうち 4 時間は全負荷、8 時間は 50[%]負荷、その他の時間は無負荷で使用する場合の 1 日の損失電力量[kWh]は。

ただし、負荷の力率は 100[%]とする。

イ . 7.2

ロ . 15.6

ハ . 19.2

ニ . 21.6

ヒント鉄損は、変圧器を使っている間で一定です。銅損は、負荷の 2 乗に比例します。

【回答】：ハ

【問 2】

単相 100[kVA]の変圧器がある。この変圧器を定格電圧、定格容量で使用したとき、その鉄損は 160[W]、銅損は 1200[W]である。この変圧器を定格電圧、50[%]負荷で使用した場合の全損失は。

ただし、負荷の力率は 100[%]とする。

イ . 340 ロ . 460 八 . 680 二 . 760

ヒント鉄損は、電圧が一定なので、変圧器を使っている間で一定です。銅損は、負荷の 2 乗に比例します。

【回答】：イ

【問 3】

配電用 6kV 変圧器(三相、定格一次電圧 6600[V]、定格二次電圧 210[V])のタップ電圧が 6750[V]のとき、二次電圧は 200[V]であった。タップ電圧を 6450[V]に変更した場合の二次電圧[V]は。

イ . 191 ロ . 204 八 . 209 二 . 214

ヒント変圧比を使って計算してください。

【回答】：八