

変圧器 (7) 《損失と効率》

変圧器入力：
 $P_{in} = |\dot{V}| \cdot |i| \cdot \cos \theta$

鉄損： $P_i = g_0 \cdot |\dot{V}|^2$

一次銅損： $P_{c1} = r_1 \cdot |i|^2$

二次銅損： $P_{c2} = r_2' \cdot |i|^2$

変圧器出力： P_{out}

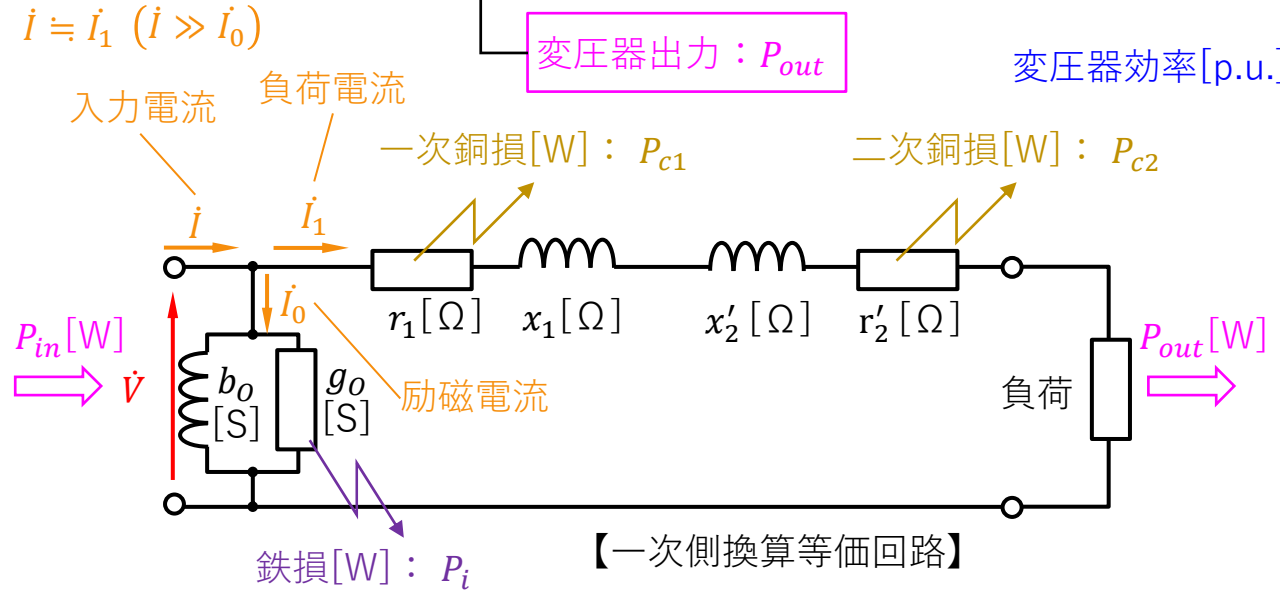
※負荷電流*I*によらず一定（入力電圧*V*に依存）

- 無負荷損
 - ヒステリシス損
 - 渦電流損
 - 励磁電流による銅損、誘電損

- ※負荷電流*I*の二乗に比例
- 負荷損
 - 銅損(一次・二次)
 - 漂遊負荷損

変圧器効率[p.u.]： $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{c1} + P_{c2} + P_i}$

実測効率 規約効率



- 一次巻線抵抗[Ω]： r_1
- 一次漏れリアクタンス[Ω]： x_1
- 等価鉄損コンダクタンス[S]： g_0
- 励磁サセプトランス[S]： b_0
- 一次側換算
- 二次巻線抵抗[Ω]： r_2'
- 一次側換算
- 二次漏れリアクタンス[Ω]： x_2'

$i \cong I_1 \ (i \gg I_0)$

入力電流 負荷電流

一次銅損[W]： P_{c1}

二次銅損[W]： P_{c2}

鉄損[W]： P_i 【一次側換算等価回路】

変圧器 (8) 《損失と効率》

①、②より

$$\text{変圧器効率[p.u.]} : \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{c1} + P_{c2} + P_i} = \frac{\alpha \cdot S \cos \theta}{\alpha \cdot S \cos \theta + \alpha^2 \cdot P_C + P_i} = \frac{S \cos \theta}{S \cos \theta + \alpha \cdot P_C + \frac{P_i}{\alpha}}$$

変圧器効率が最大になるのは、最小の定理 ($A \times B$ が一定ならば、 $A = B$ のとき $A + B$ が最小) より、

$$\alpha \cdot P_C = \frac{P_i}{\alpha} \quad \frac{P_i}{\alpha^2} = P_C \quad \alpha = \sqrt{\frac{P_i}{P_C}}$$

無負荷損と負荷損が
同じとき効率最大

変圧器定格容量[VA] : S 力率[p.u.] : $\cos \theta$

定格出力[W] : $P_n = S \cos \theta$

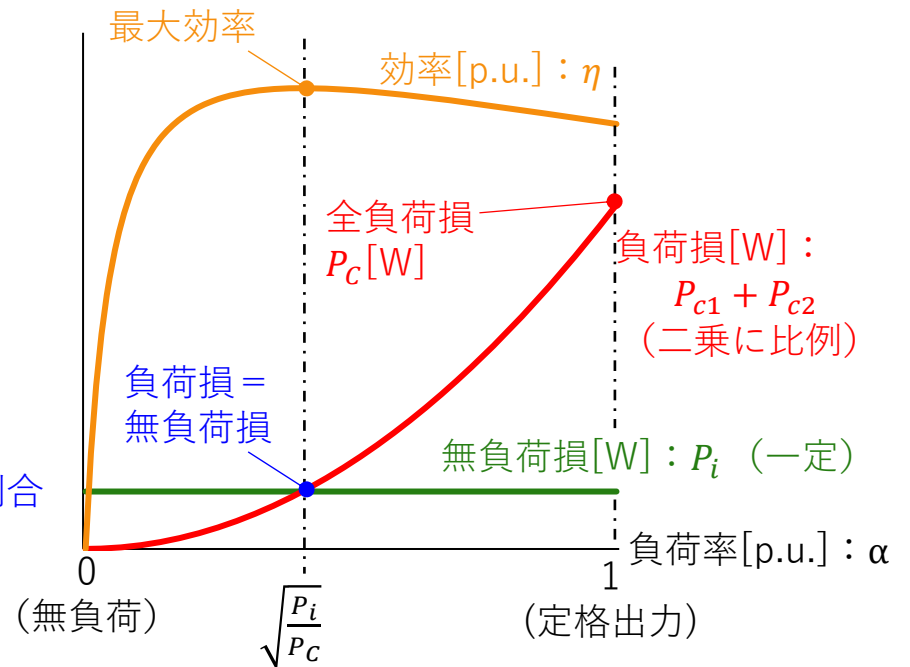
全負荷損[W] : P_C ※定格出力時の一次、二次銅損の合計

無負荷損[W] : P_i ※変圧器出力に関わらず一定

負荷率[p.u.] : α ($\alpha \leq 1$) ※変圧器出力の定格出力に対する割合

変圧器出力[W] : $P_{out} = \alpha \cdot S \cos \theta$. . . ①

負荷損[W] : $P_{c1} + P_{c2} = \alpha^2 \cdot P_C$. . . ②



変圧器 (7) : 付録 無負荷損 (渦電流損・ヒステリシス損) の式

注1: 磁束密度はコイル電流に比例する。コイル電流は一次電圧に比例、コイルインピーダンスに反比例する。コイルインピーダンスは周波数に比例する。結果、磁束密度は一次電圧に比例、周波数に反比例する。

■ 鉄心(磁性体)単位体積当たりの渦電流損 P_{ev} [W/m³]

$$P_{ev} = K_e \cdot \frac{B_m^2 \cdot f^2 \cdot d^2}{\rho}$$

磁束密度 B_m は一次電圧 V に比例して周波数 f に反比例するので(注1)

$$P_{ev} = K_e' \cdot \frac{V^2 \cdot d^2}{\rho} \quad \text{※一次電圧・鉄心厚みの2乗に比例する。…①}$$

- B_m : 最大磁束密度[T]
- f : 周波数[Hz]
- d : 鉄心(導体)の厚み[m]
- ρ : 磁性体の抵抗率[Ω・m]
- K_e : 比例定数

たくさんの薄い鉄心を積み重ねた構造の積層鉄心とすることで鉄心厚み d を薄くして渦電流を低減することができる。

■ 鉄心(磁性体)単位体積当たりのヒステリシス損 P_{hv} [W/m³]

【ヒステリシスループ】

スタインメッツの実験式

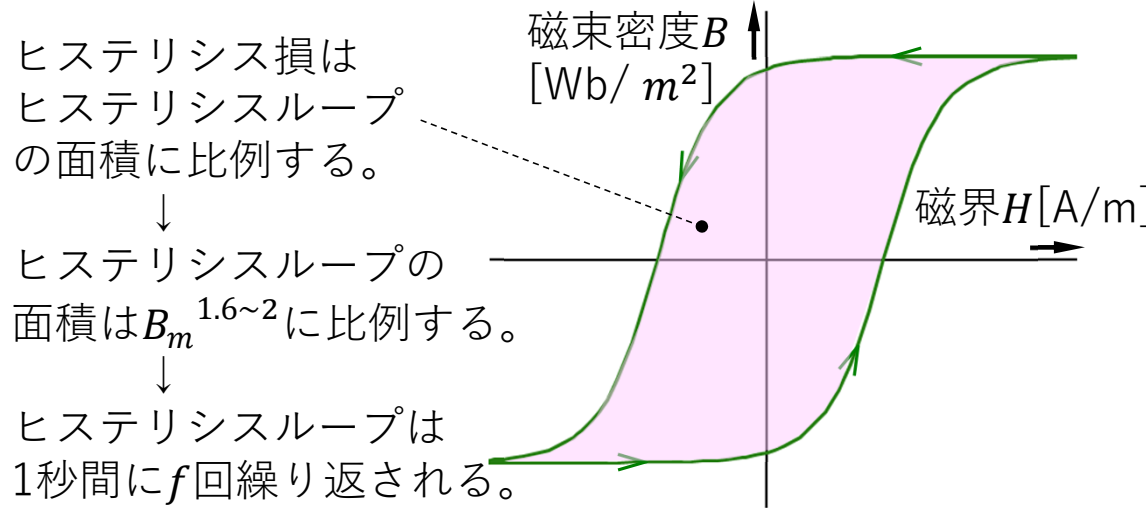
$$P_{hv} = K_h \cdot f \cdot B_m^\alpha$$

- α : スタインメッツ定数(1.6~2)
- K_h : 比例定数

磁束密度 B_m は一次電圧 V に比例して周波数 f に反比例するので(注1)、 $\alpha = 2$ とおくと

$$P_{hv} = K_h' \cdot \frac{V^2}{f}$$

※一次電圧の2乗に比例、周波数に反比例する。…②



①,②より、無負荷損は周波数が一定の場合、一次電圧の2乗に比例する。また、一般的に無負荷損の内訳はヒステリシス損が大きいため、一次電圧が一定の場合は、周波数にほぼ反比例する。