

講義中の注意



- 講義中は、参加者のマイク・カメラの機能はミュート状態になります。
- 進行はスタッフ及び講師が行いますので、指示に従ってください。
- 質疑応答の時間は、参加者のマイクをオンにして質問を受け付けることもあります。希望される方は「チャット欄」で申し出てください。

電験二種二次対策 オンライン講座

第7回 変圧器のポイント

H27 問2 (解説)

問2 変圧器の特性に関して、次の問に答えよ。

(1) 定格容量 $S_n = 100 \text{ kV}\cdot\text{A}$ 、定格一次電圧 $V_{1n} = 6600 \text{ V}$ 、定格二次電圧 $V_{2n} = 210 \text{ V}$ 、定格周波数 60 Hz の単相変圧器がある。巻数比 a 、定格一次電流 $I_{1n} [\text{A}]$ を求めよ。

(2) この変圧器の二次巻線端子を短絡し、一次巻線端子に定格周波数の電圧 $V_{1s} = 218 \text{ V}$ を印加したところ、二次側電流が定格電流となり、入力電力は、 $P_{1s} = 1200 \text{ W}$ であった。短絡インピーダンスの大きさ [%] を求めよ。

(3) 図1は二次側の諸量を一次側に換算した変圧器の簡易等価回路である。上記(2)の条件から、図中の巻線の抵抗 $r = r_1 + a^2 r_2 [\Omega]$ 及び漏れリアクタンス $x = x_1 + a^2 x_2 [\Omega]$ を求めよ。ただし、励磁アドミタンスは無視する。

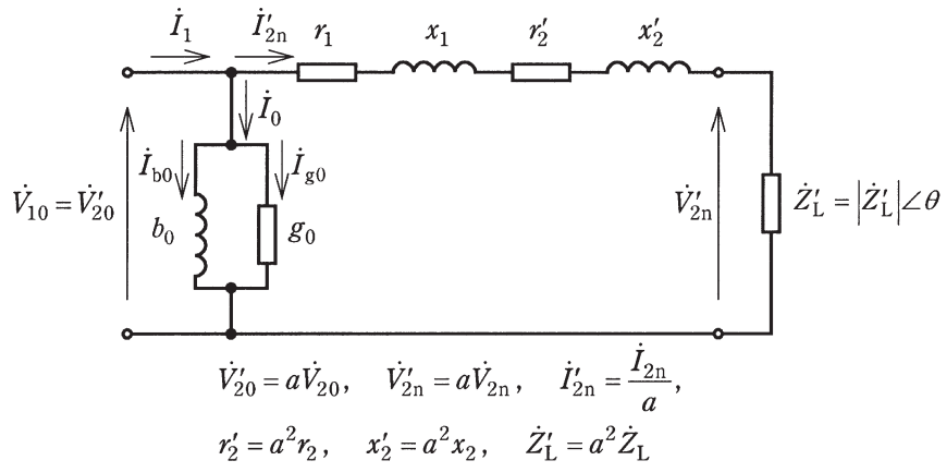


図1

(1)

$$a = \frac{V_{1n}}{V_{2n}} = \frac{6600}{210} = 31.4$$

$$I_{1n} = \frac{S_n}{V_{1n}} = \frac{100000}{6600} = 15.2 \text{ A}$$

(2)

$$\begin{aligned} \%Z &= \frac{Z_{act}}{Z_{BASE}} \times 100 = \frac{V_{1s}/I_{1n}}{V_{1n}/I_{1n}} \times 100 = \frac{V_{1s}}{V_{1n}} \times 100 \\ &= \frac{218}{6600} \times 100 = 3.3 \% \end{aligned}$$

(3)

$$Z_{act} = \frac{V_{1s}}{I_{1n}} = \frac{218}{15.2} = 14.34 \Omega$$

$$P_{1s} = r I_{1n}^2 \rightarrow r = \frac{P_{1s}}{I_{1n}^2} = \frac{1200}{15.2^2} = 5.19 \Omega$$

$$x = \sqrt{Z_{act}^2 - r^2} = \sqrt{14.34^2 - 5.19^2} = 13.4 \Omega$$

H27 問2 (解説)

問2 変圧器の特性に関して、次の問に答えよ。

- (1) 定格容量 $S_n = 100 \text{ kV}\cdot\text{A}$ 、定格一次電圧 $V_{1n} = 6600 \text{ V}$ 、定格二次電圧 $V_{2n} = 210 \text{ V}$ 、定格周波数 60 Hz の単相変圧器がある。巻数比 a 、定格一次電流 $I_{1n} [\text{A}]$ を求めよ。
- (2) この変圧器の二次巻線端子を短絡し、一次巻線端子に定格周波数の電圧 $V_{1s} = 218 \text{ V}$ を印加したところ、二次側電流が定格電流となり、入力電力は、 $P_{1s} = 1200 \text{ W}$ であった。短絡インピーダンスの大きさ [%] を求めよ。
- (3) 図1は二次側の諸量を一次側に換算した変圧器の簡易等価回路である。上記(2)の条件から、図中の巻線の抵抗 $r = r_1 + a^2 r_2 [\Omega]$ 及び漏れリアクタンス $x = x_1 + a^2 x_2 [\Omega]$ を求めよ。ただし、励磁アドミタンスは無視する。

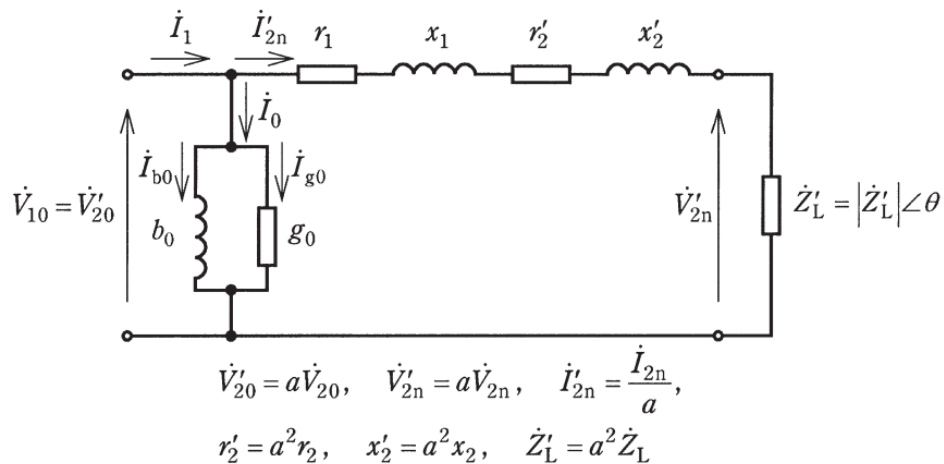


図1

- (4) 図1に示すように、二次巻線端子に力率 $\cos \theta$ の負荷 ($\dot{Z}_L = |\dot{Z}_L| \angle \theta$) を接続して一次巻線電圧を V_{10} としたとき、負荷に定格電圧 V_{2n} が印加され定格電流 I_{2n} が流れた。図2は、このときの電圧電流ベクトル概略図の一部である。図2が答案用紙に印刷されているので、電圧 $\dot{V}'_{20}(= \dot{V}_{10})$ 及び電流 $\dot{I}_1, \dot{I}_{g0}, \dot{I}_{b0}$ のベクトルを書き足して、ベクトル図を完成させよ。巻線抵抗 r 及び漏れリアクタンス x による電圧降下の成分も図中に明示せよ。

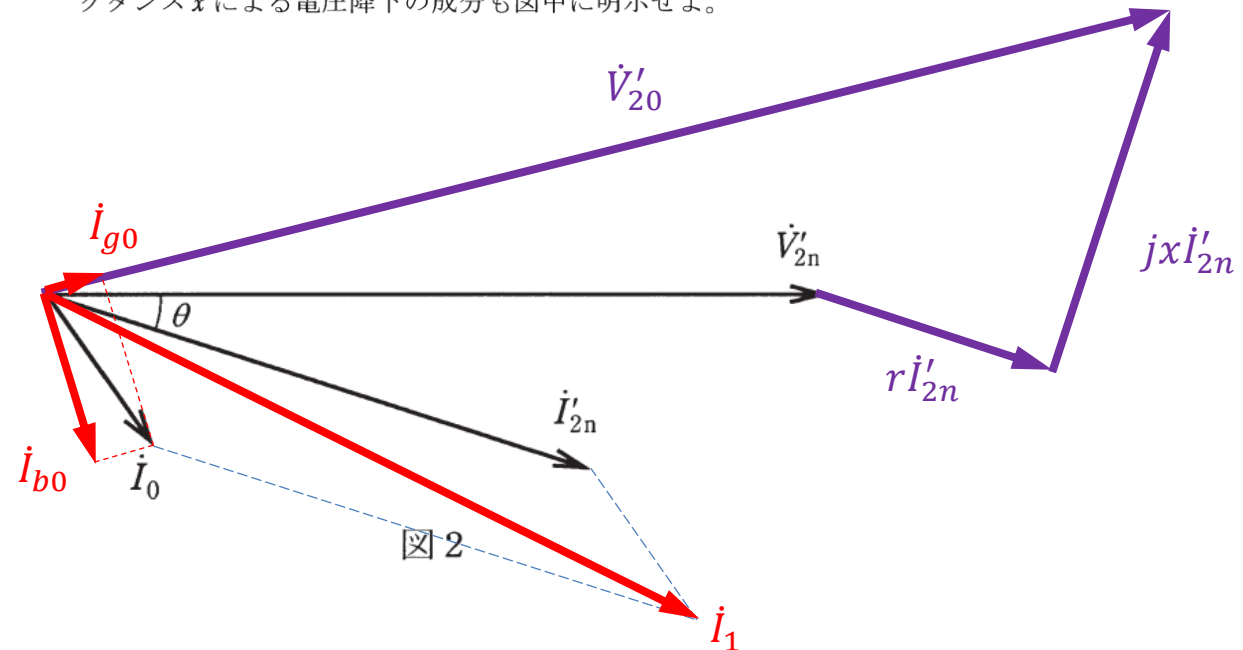


図2

H27 問2 (解説)

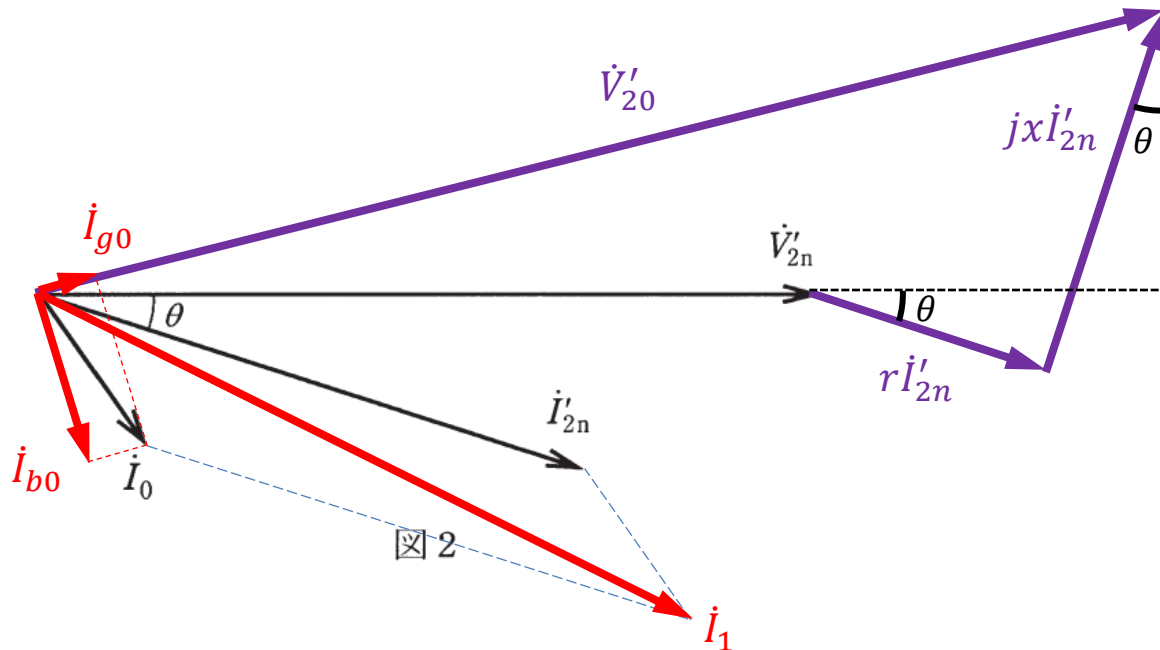
(5) 一次端子電圧を V_{10} のままにして、無負荷としたときの二次端子電圧を V_{20} とする。このとき、この変圧器の電圧の変動率 ε を、次式で表す。

$$\varepsilon = \frac{V_{20} - V_{2n}}{V_{2n}} \times 100 [\%]$$

これは、次式で近似できることを示せ。

$$\varepsilon \doteq (q_R \cos\theta + q_X \sin\theta) \times 100 [\%]$$

ただし、 $R = \frac{r}{a^2}$, $X = \frac{x}{a^2}$, $q_R = \frac{RI_{2n}}{V_{2n}} \ll 1$, $q_X = \frac{XI_{2n}}{V_{2n}} \ll 1$ とする。また、必要に応じて、展開式 $\sqrt{1+\delta} = 1 + \frac{1}{2}\delta - \frac{1}{8}\delta^2 + \dots$, ($|\delta| < 1$) を用いよ。



電圧と電流を二次側に換算

$$V_{20} = \sqrt{(V_{2n} + rI_{2n} \cos\theta + xI_{2n} \sin\theta)^2 + (xI_{2n} \cos\theta - rI_{2n} \sin\theta)^2}$$

$$= V_{2n} \sqrt{\left(1 + \frac{rI_{2n}}{V_{2n}} \cos\theta + \frac{xI_{2n}}{V_{2n}} \sin\theta\right)^2 + \left(\frac{xI_{2n}}{V_{2n}} \cos\theta - \frac{rI_{2n}}{V_{2n}} \sin\theta\right)^2}$$

$$= V_{2n} \sqrt{(1 + q_R \cos\theta + q_X \sin\theta)^2 + (q_X \cos\theta - q_R \sin\theta)^2}$$

$$\frac{V_{20}}{V_{2n}} = \sqrt{1 + 2(q_R \cos\theta + q_X \sin\theta) + (q_R \cos\theta + q_X \sin\theta)^2 + (q_X \cos\theta - q_R \sin\theta)^2}$$

$$= \sqrt{1 + 2(q_R \cos\theta + q_X \sin\theta) + q_R^2 (\cos^2\theta + \sin^2\theta) + q_X^2 (\sin^2\theta + \cos^2\theta)}$$

$$= \sqrt{1 + 2(q_R \cos\theta + q_X \sin\theta) + q_R^2 + q_X^2}$$

1より十分小さい

マクローリン展開による近似式より

$$\frac{V_{20}}{V_{2n}} \sim 1 + \frac{1}{2} \{2(q_R \cos\theta + q_X \sin\theta) + q_R^2 + q_X^2\} \sim 1 + q_R \cos\theta + q_X \sin\theta$$

小さいので無視

$$\therefore \varepsilon = \frac{V_{20} - V_{2n}}{V_{2n}} \times 100 = (q_R \cos\theta + q_X \sin\theta) \times 100 [\%]$$

H28 問2 (機械・制御)

問2 定格容量 50 kV・A, 定格一次電圧 11000 V, 定格二次電圧 3300 V, 定格周波数 50 Hz の単相変圧器があり, 高圧側からの試験結果は次のとおりであった。

無負荷試験 無負荷損 : $P_0 = 290$ W

無負荷電流 : $I_0 = 0.221$ A

短絡試験 インピーダンス電圧 : $V_{1S} = 550$ V

一次電流 : $I_{1S} = 4.55$ A

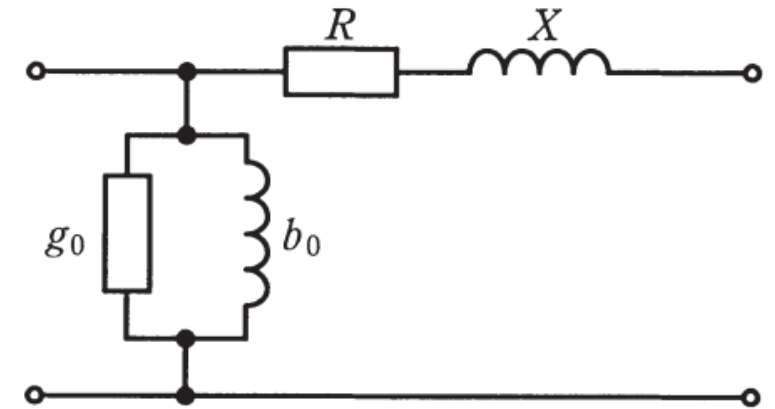
インピーダンスワット : $P_S = 740$ W

次の問に答えよ。

ただし, 定格負荷時の力率 $\cos\phi$ における電圧の変動率 ε [%] は, 百分率抵抗降下を p [%], 百分率リアクタンス降下を q [%] とすれば, 次式で表せるものとする。

$$\varepsilon = p \cos\phi + q \sin\phi + \frac{1}{200} (q \cos\phi - p \sin\phi)^2 \text{ [%]}$$

- (1) 図に示す簡易等価回路の回路定数(一次側換算値)をそれぞれ求めよ。
- (2) 遅れ力率 80%, 全負荷における電圧の変動率を求めよ。
- (3) 遅れ力率 80%, $\frac{1}{2}$ 負荷における効率を求めよ。
- (4) 遅れ力率 80%, $\frac{1}{2}$ 負荷における電圧の変動率を求めよ。



一次換算全巻線抵抗 : R

一次換算全漏れリアクタンス : X

励磁コンダクタンス : g_0

励磁サセプタンス : b_0

H28 問2 (解説)

問2 定格容量 50 kV・A, 定格一次電圧 11000 V, 定格二次電圧 3300 V, 定格周波数 50 Hz の単相変圧器があり, 高圧側からの試験結果は次のとおりであった。

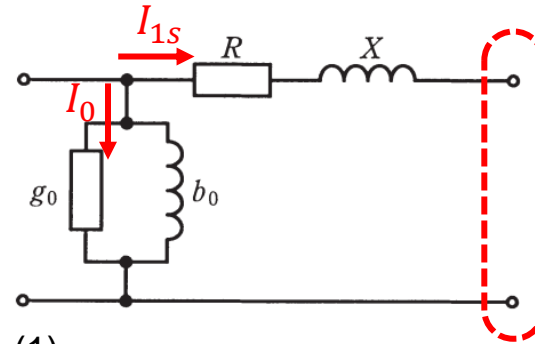
無負荷試験	無負荷損 : $P_0 = 290 \text{ W}$
	無負荷電流 : $I_0 = 0.221 \text{ A}$
短絡試験	インピーダンス電圧 : $V_{1s} = 550 \text{ V}$
	一次電流 : $I_{1s} = 4.55 \text{ A}$
	インピーダンスワット : $P_s = 740 \text{ W}$

次の問に答えよ。

ただし, 定格負荷時の力率 $\cos\phi$ における電圧の変動率 ε [%] は, 百分率抵抗降下を p [%], 百分率リアクタンス降下を q [%] とすれば, 次式で表せるものとする。

$$\varepsilon = p \cos\phi + q \sin\phi + \frac{1}{200}(q \cos\phi - p \sin\phi)^2 \text{ [%]}$$

- (1) 図に示す簡易等価回路の回路定数(一次側換算値)をそれぞれ求めよ。
- (2) 遅れ力率 80%, 全負荷における電圧の変動率を求めよ。
- (3) 遅れ力率 80%, $\frac{1}{2}$ 負荷における効率を求めよ。
- (4) 遅れ力率 80%, $\frac{1}{2}$ 負荷における電圧の変動率を求めよ。



短絡試験は短絡
無負荷試験は開放

一次換算全巻線抵抗 : R
一次換算全漏れリアクタンス : X
励磁コンダクタンス : g_0
励磁サセプタンス : b_0

(1)

短絡試験より

$$P_s = RI_{1s}^2 \rightarrow R = \frac{P_s}{I_{1s}^2} = \frac{740}{4.55^2} = 35.7 \Omega$$

$$Z_{act} = \frac{V_{1s}}{I_{1s}} = \frac{550}{4.55} = 120.9 \Omega$$

$$X = \sqrt{Z_{act}^2 - R^2} = \sqrt{120.9^2 - 35.7^2} = 115.5 \Omega$$

無負荷試験より

$$P_0 = g_0 V_{1n}^2 \rightarrow g_0 = \frac{P_0}{V_{1n}^2} = \frac{290}{11000^2} = 2.40 \times 10^{-6} \text{ S}$$

$$Y_0 = \frac{I_0}{V_{1n}} = \frac{0.221}{11000} = 20.1 \times 10^{-6} \text{ S}$$

$$b_0 = \sqrt{Y_0^2 - g_0^2} = \sqrt{20.1^2 - 2.4^2} \times 10^{-6} = 19.9 \times 10^{-6} \text{ S}$$

H28 問2 (解説)

問2 定格容量 50 kV・A, 定格一次電圧 11000 V, 定格二次電圧 3300 V, 定格周波数 50 Hz の単相変圧器があり, 高圧側からの試験結果は次のとおりであった。

無負荷試験 無負荷損 : $P_0 = 290$ W

無負荷電流 : $I_0 = 0.221$ A

短絡試験 インピーダンス電圧 : $V_{1S} = 550$ V

一次電流 : $I_{1S} = 4.55$ A

インピーダンスワット : $P_S = 740$ W

次の問に答えよ。

ただし, 定格負荷時の力率 $\cos\phi$ における電圧の変動率 ε [%] は, 百分率抵抗降下を p [%], 百分率リアクタンス降下を q [%] とすれば, 次式で表せるものとする。

$$\varepsilon = p \cos\phi + q \sin\phi + \frac{1}{200}(q \cos\phi - p \sin\phi)^2 \text{ [%]}$$

- (1) 図に示す簡易等価回路の回路定数(一次側換算値)をそれぞれ求めよ。
- (2) 遅れ力率 80%, 全負荷における電圧の変動率を求めよ。
- (3) 遅れ力率 80%, $\frac{1}{2}$ 負荷における効率を求めよ。
- (4) 遅れ力率 80%, $\frac{1}{2}$ 負荷における電圧の変動率を求めよ。

(2)

$$p = \frac{P}{S_n} = \frac{RI_{1n}^2}{V_{1n}I_{1n}} = \frac{RI_{1n}}{V_{1n}} = \frac{35.7 \times 4.55}{11000} = 0.0148 \rightarrow 1.48 \%$$

$$q = \frac{Q}{S_n} = \frac{XI_{1n}^2}{V_{1n}I_{1n}} = \frac{XI_{1n}}{V_{1n}} = \frac{115.5 \times 4.55}{11000} = 0.0478 \rightarrow 4.78 \%$$

$$\varepsilon = p \cos\phi + q \sin\phi + \frac{1}{200}(q \cos\phi - p \sin\phi)^2 \text{ [%]}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon &= 1.48 \times 0.8 + 4.78 \times 0.6 + \frac{1}{200}(4.78 \times 0.8 - 1.48 \times 0.6)^2 \\ &= 4.095 \% \end{aligned}$$

H28 問2 (解説)

問2 定格容量 50 kV・A, 定格一次電圧 11000 V, 定格二次電圧 3300 V, 定格周波数 50 Hz の単相変圧器があり, 高圧側からの試験結果は次のとおりであった。 (3)

無負荷試験 無負荷損 : $P_0 = 290$ W

無負荷電流 : $I_0 = 0.221$ A

短絡試験 インピーダンス電圧 : $V_{1S} = 550$ V

一次電流 : $I_{1S} = 4.55$ A

インピーダンスワット : $P_S = 740$ W

次の問に答えよ。

ただし, 定格負荷時の力率 $\cos\phi$ における電圧の変動率 ε [%] は, 百分率抵抗降下を p [%], 百分率リアクタンス降下を q [%] とすれば, 次式で表せるものとする。

$$\varepsilon = p \cos\phi + q \sin\phi + \frac{1}{200} (q \cos\phi - p \sin\phi)^2 \text{ [%]}$$

- (1) 図に示す簡易等価回路の回路定数(一次側換算値)をそれぞれ求めよ。
- (2) 遅れ力率 80%, 全負荷における電圧の変動率を求めよ。
- (3) 遅れ力率 80%, $\frac{1}{2}$ 負荷における効率を求めよ。
- (4) 遅れ力率 80%, $\frac{1}{2}$ 負荷における電圧の変動率を求めよ。

変圧器の効率に関する公式

$$\eta = \frac{\alpha P_n \cos\phi}{\alpha P_n \cos\phi + p_i + \alpha^2 p_c} \times 100 \text{ [%]}$$

P_n : 定格容量 p_i : 鉄損 α : 負荷率
 $\cos\phi$: 負荷力率 p_c : 銅損

鉄損 = 無負荷損、銅損 = インピーダンスワット

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{\alpha P_n \cos\phi}{\alpha P_n \cos\phi + P_0 + \alpha^2 P_S} \times 100 \\ &= \frac{0.5 \times 50000 \times 0.8}{0.5 \times 50000 \times 0.8 + 290 + 0.5^2 \times 740} \times 100 = 97.7 \text{ \%} \end{aligned}$$

H28 問2 (解説)

問2 定格容量 50 kV・A, 定格一次電圧 11000 V, 定格二次電圧 3300 V, 定格周波数 50 Hz の単相変圧器があり, 高圧側からの試験結果は次のとおりであった。

無負荷試験 無負荷損: $P_0 = 290$ W

無負荷電流: $I_0 = 0.221$ A

短絡試験 インピーダンス電圧: $V_{1S} = 550$ V

一次電流: $I_{1S} = 4.55$ A

インピーダンスワット: $P_S = 740$ W

次の問に答えよ。

ただし, 定格負荷時の力率 $\cos\phi$ における電圧の変動率 ε [%] は, 百分率抵抗降下を p [%], 百分率リアクタンス降下を q [%] とすれば, 次式で表せるものとする。

$$\varepsilon = p \cos\phi + q \sin\phi + \frac{1}{200} (q \cos\phi - p \sin\phi)^2 \text{ [%]}$$

- (1) 図に示す簡易等価回路の回路定数(一次側換算値)をそれぞれ求めよ。
- (2) 遅れ力率 80%, 全負荷における電圧の変動率を求めよ。
- (3) 遅れ力率 80%, $\frac{1}{2}$ 負荷における効率を求めよ。
- (4) 遅れ力率 80%, $\frac{1}{2}$ 負荷における電圧の変動率を求めよ。

(4)

$$p' = \frac{R\alpha I_{1n}}{V_{1n}} = \alpha p = \frac{1}{2} \times 1.48 = 0.74 \%$$

$$q' = \frac{X\alpha I_{1n}}{V_{1n}} = \alpha q = \frac{1}{2} \times 4.78 = 2.39 \%$$

$$\varepsilon = p' \cos\phi + q' \sin\phi + \frac{1}{200} (q' \cos\phi - p' \sin\phi)^2 \text{ [%]}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon &= 0.74 \times 0.8 + 2.39 \times 0.6 + \frac{1}{200} (2.39 \times 0.8 - 0.74 \times 0.6)^2 \\ &= 2.037 \% \end{aligned}$$

H22 問2 (機械・制御)

問2 定格容量 300 [kV・A]， 定格一次電圧 6600 [V]， 定格二次電圧 440 [V]， (1)

定格周波数 60 [Hz] の単相変圧器がある。この変圧器の二次側の端子を開放して、一次側に定格周波数， 定格一次電圧を印加したところ， 一次側に 0.483 [A] の電流が流れ， 力率は 0.325 (遅れ) であった。

また， 負荷力率 1 で運転したとき， 定格容量の 30 [%] 負荷時の効率と定格容量の 70 [%] 負荷時の効率とが等しくなった。 (2)

この変圧器について， 次の値を求めよ。ただし， 損失は鉄損と銅損以外は無視できるものとする。

鉄損 = 無負荷損

$$p_i = V_{1n} I_0 \cos \theta = 6600 \times 0.483 \times 0.325 = 1036 \text{ W}$$

変圧器の効率に関する公式

$$\eta = \frac{\alpha P_n \cos \phi}{\alpha P_n \cos \phi + p_i + \alpha^2 p_c} \times 100 [\%]$$

P_n : 定格容量 p_i : 鉄損 α : 負荷率
 $\cos \phi$: 負荷力率 p_c : 銅損

(1) 鉄損 [W]

(2) 定格負荷で運転したときの銅損 [W]

(3) 負荷力率 1 で負荷率を変えて運転したときの最大効率 [%]

$$\eta_{30} = \frac{0.3 \times 300,000 \times 1}{0.3 \times 300,000 \times 1 + 1036 + 0.3^2 p_c} \times 100$$

$$\eta_{70} = \frac{0.7 \times 300,000 \times 1}{0.7 \times 300,000 \times 1 + 1036 + 0.7^2 p_c} \times 100$$

$\eta_{30} = \eta_{70}$ を満たすを p_c 求める

H22 問2 (機械・制御)

(2)

$$\frac{0.3 \times 300,000}{0.3 \times 300,000 + 1036 + 0.3^2 p_c} \times 100 = \frac{0.7 \times 300,000}{0.7 \times 300,000 + 1036 + 0.7^2 p_c} \times 100$$

$$\frac{0.3 \times 300,000 + 1036 + 0.3^2 p_c}{0.3} = \frac{0.7 \times 300,000 + 1036 + 0.7^2 p_c}{0.7}$$

$$\frac{0.3 \times 300,000 + 1036 + 0.3^2 p_c}{0.3} = \frac{0.7 \times 300,000 + 1036 + 0.7^2 p_c}{0.7}$$

$$300,000 + \frac{1036}{0.3} + 0.3p_c = 300,000 + \frac{1036}{0.7} + 0.7p_c$$

$$\frac{1036}{0.3} + 0.3p_c = \frac{1036}{0.7} + 0.7p_c$$

$$0.4p_c = \frac{1036}{0.3} - \frac{1036}{0.7}$$

$$p_c = \left(\frac{1036}{0.3} - \frac{1036}{0.7} \right) \times \frac{1}{0.4} = 4933 \text{ W}$$

H22 問2 (機械・制御)

(2)

問2 定格容量 300 [kV・A]、定格一次電圧 6600 [V]、定格二次電圧 440 [V]、定格周波数 60 [Hz] の単相変圧器がある。この変圧器の二次側の端子を開放して、一次側に定格周波数、定格一次電圧を印加したところ、一次側に 0.483 [A] の電流が流れ、力率は 0.325 (遅れ) であった。

また、負荷力率 1 で運転したとき、定格容量の 30 [%] 負荷時の効率と定格容量の 70 [%] 負荷時の効率とが等しくなった。

この変圧器について、次の値を求めよ。ただし、損失は鉄損と銅損以外は無視できるものとする。

- (1) 鉄損 [W]
- (2) 定格負荷で運転したときの銅損 [W]
- (3) 負荷力率 1 で負荷率を変えて運転したときの最大効率 [%]

最大効率となる条件

$$p_i = \alpha^2 p_c \rightarrow \alpha = \sqrt{\frac{p_i}{p_c}}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{p_i}{p_c}} = \sqrt{\frac{1036}{4933}} = 0.4583$$

$$\eta = \frac{0.4583 \times 300,000 \times 1}{0.4583 \times 300,000 \times 1 + 1036 + 1036} \times 100 = 98.52 \%$$

変圧器の効率に関する公式

$$\eta = \frac{\alpha P_n \cos \phi}{\alpha P_n \cos \phi + p_i + \alpha^2 p_c} \times 100 [\%]$$

P_n : 定格容量 p_i : 鉄損 α : 負荷率

$\cos \phi$: 負荷力率 p_c : 銅損

ご聴講ありがとうございました!!