

電験三種 オンライン講座

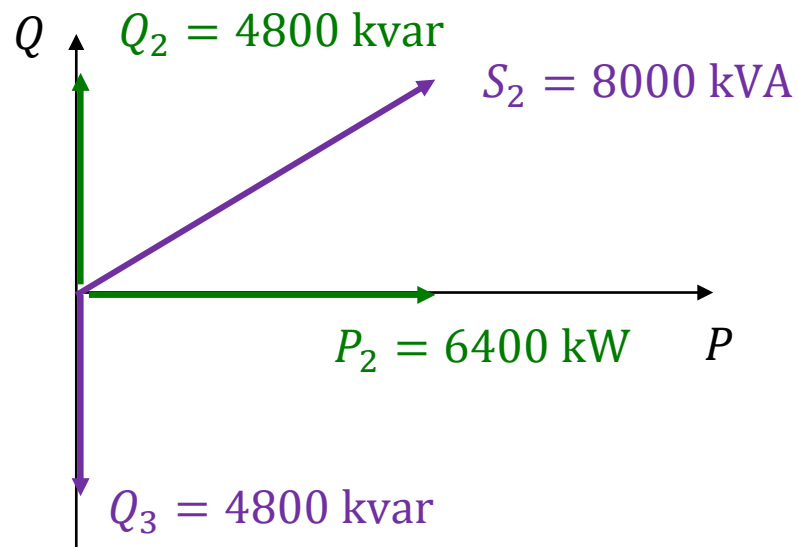
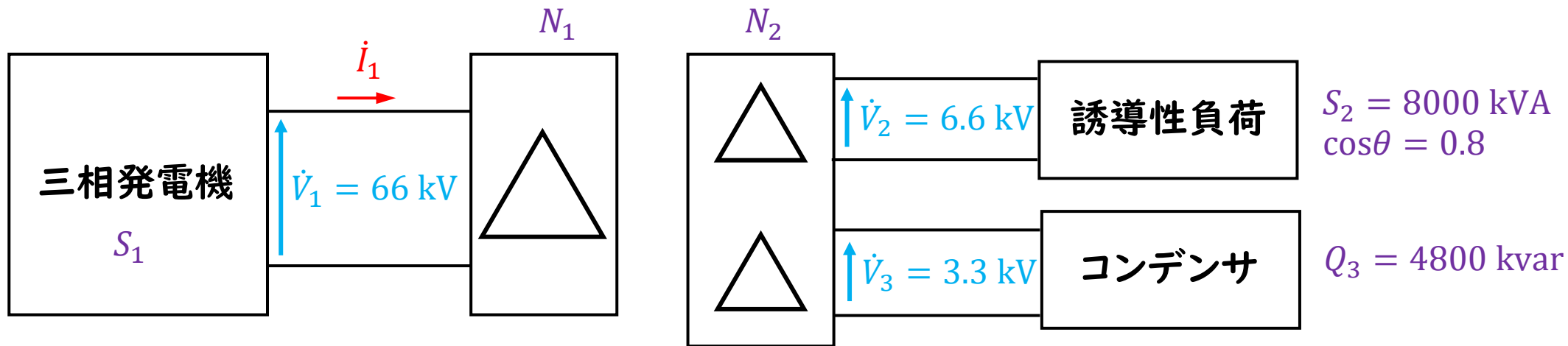
機械 四機解説(2) 変圧器

R02 問9

問9 一次線間電圧が 66 kV，二次線間電圧が 6.6 kV，三次線間電圧が 3.3 kV の三相三巻線変圧器がある。一次巻線には線間電圧 66 kV の三相交流電源が接続されている。二次巻線に力率 0.8，8 000 kV・A の三相誘導性負荷を接続し，三次巻線に 4 800 kV・A の三相コンデンサを接続した。一次電流の値[A]として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。ただし，変圧器の漏れインピーダンス，励磁電流及び損失は無視できるほど小さいものとする。

- (1) 42.0 (2) 56.0 (3) 70.0 (4) 700.0 (5) 840.0

導出のポイント



電源出力

$$S_1 = P_2 = 6400 \text{ kW}$$

$$S_1 = \sqrt{3}V_1I_1$$

$$I_1 = \frac{S_1}{\sqrt{3}V_1} = \frac{6400}{\sqrt{3} \times 66} = 56.0 \text{ A}$$

R02 問9

問9 一次線間電圧が 66 kV，二次線間電圧が 6.6 kV，三次線間電圧が 3.3 kV の三相三巻線変圧器がある。一次巻線には線間電圧 66 kV の三相交流電源が接続されている。二次巻線に力率 0.8，8 000 kV・A の三相誘導性負荷を接続し，三次巻線に 4 800 kV・A の三相コンデンサを接続した。一次電流の値[A]として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。ただし，変圧器の漏れインピーダンス，励磁電流及び損失は無視できるほど小さいものとする。

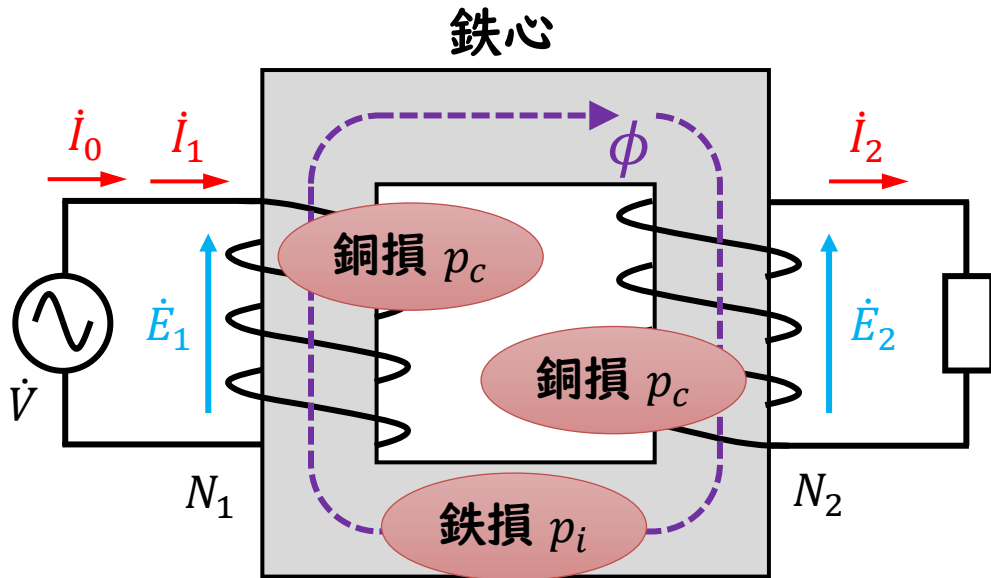
- (1) 42.0 (2) 56.0 (3) 70.0 (4) 700.0 (5) 840.0

R05上 問9

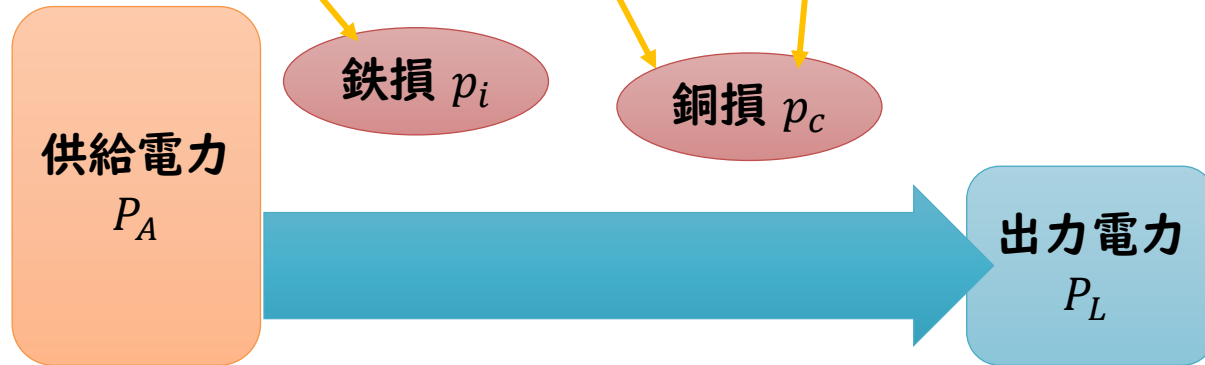
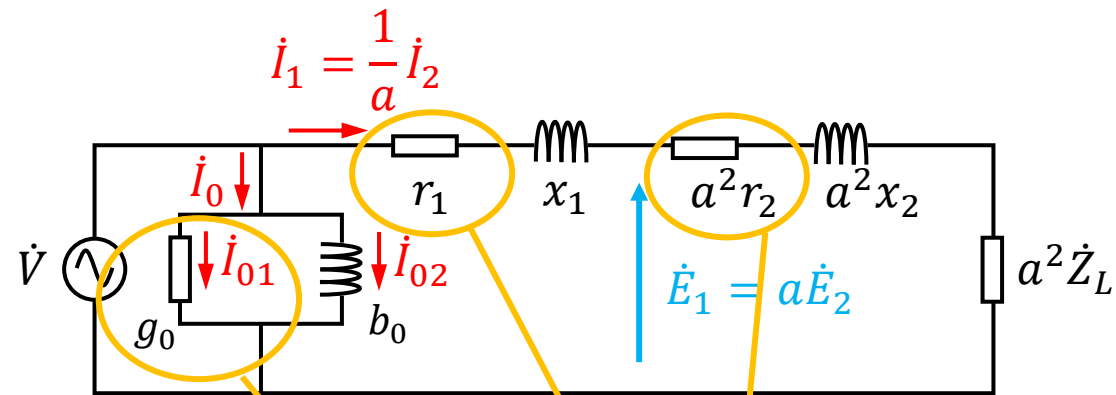
問9 定格容量 $50 \text{ kV}\cdot\text{A}$ の単相変圧器において、力率1の負荷で全負荷運転したときに、銅損が 1000 W 、鉄損が 250 W となった。力率1を維持したまま負荷を調整し、最大効率となる条件で運転した。銅損と鉄損以外の損失は無視できるものとし、この最大効率となる条件での効率の値[%]として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 95.2 (2) 96.0 (3) 97.6 (4) 98.0 (5) 99.0

変圧器の電力と効率



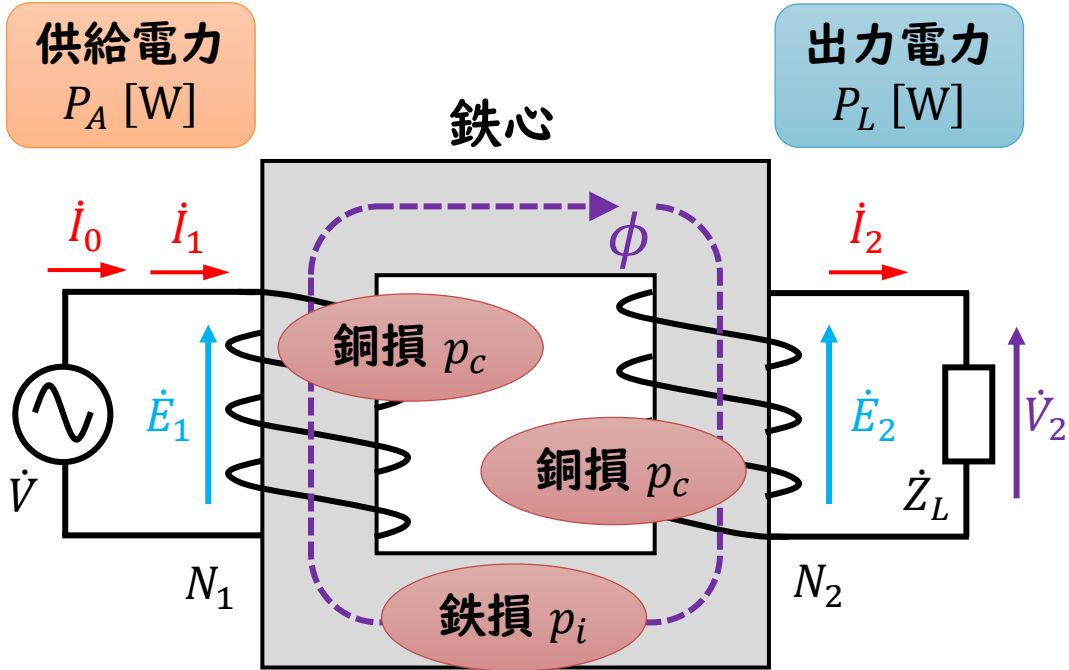
<変圧器の簡易等価回路>



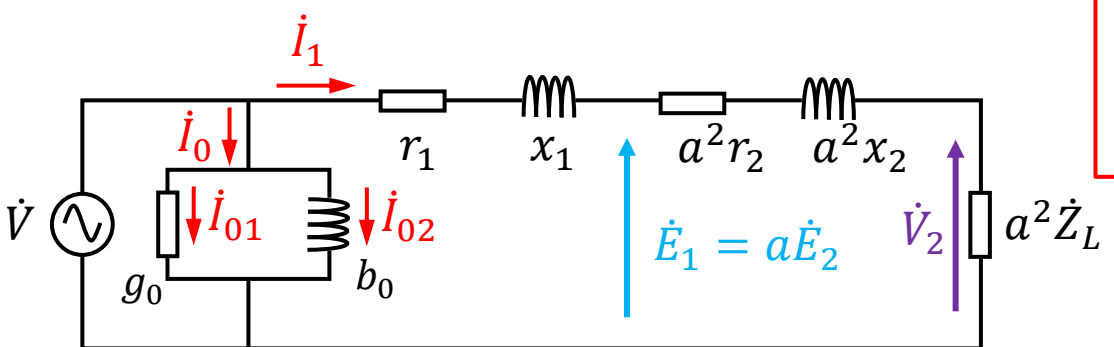
電気回路の要素	一次側	二次側
電力	1	1
電圧	a	1
電流	$1/a$	1
一次側からみた二次側負荷	a^2	1

電源から負荷へ全ての電力が伝わらず一部の電力が損失となる
 鉄損：鉄心部分で発生する損失（電流によらず無負荷でも発生）
 銅損：巻線部分で発生する損失（巻線電流の2乗に比例）

変圧器の電力と効率



<変圧器の簡易等価回路>



<変圧器の効率>

$$\eta [\%] = \frac{P_L}{P_A} \times 100 = \frac{P_n \cos\theta}{P_n \cos\theta + p_i + p_{cn}} \times 100$$

P_n : 定格出力 [kVA]
 $\cos\theta$: 負荷の力率
 p_i : 鉄損 (無負荷損)
 p_{cn} : 定格時の銅損

出力が定格の α 倍のとき (α : 負荷率)

$$\eta [\%] = \frac{\alpha P_n \cos\theta}{\alpha P_n \cos\theta + p_i + \alpha^2 p_{cn}} \times 100$$

$$P_B = V_2 I_2 = V_2 (\alpha I_n) = \alpha P_n$$

$$p_c = (r_1 + a^2 r_2) I_2^2$$

$$= (r_1 + a^2 r_2) (\alpha I_n)^2$$

$$= \alpha^2 (r_1 + a^2 r_2) I_n^2 = \alpha^2 p_{cn}$$

最大効率時は $p_i = p_c$ が成り立つ

銅損は負荷率の2乗に比例

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

$$\eta' [\%] = \frac{\alpha' P_n \cos\theta}{\alpha' P_n \cos\theta + 2p_i} \times 100 = \frac{P_n \cos\theta}{P_n \cos\theta + \frac{p_i}{\alpha'} + \alpha' p_{cn}} \times 100$$

R05上 問9

問9 定格容量 50 kV・A の単相変圧器において、力率 1 の負荷で全負荷運転したときに、銅損が 1000 W、鉄損が 250 W となった。力率 1 を維持したまま負荷を調整し、最大効率となる条件で運転した。銅損と鉄損以外の損失は無視できるものとし、この最大効率となる条件での効率の値[%]として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 95.2 (2) 96.0 (3) 97.6 (4) 98.0 (5) 99.0

最大効率となる負荷率 α は

$$P_c = P_i \rightarrow \alpha^2 P_{cn} = P_i \rightarrow \alpha = \sqrt{\frac{P_i}{P_{cn}}} = \sqrt{\frac{250}{1000}} = \frac{1}{2} = 0.5$$

最大効率は

$$\eta = \frac{\alpha P_o}{\alpha P_o + P_i + P_c} \times 100 = \frac{\alpha P_o}{\alpha P_o + 2P_i} \times 100 = \frac{0.5 \times 50000}{0.5 \times 50000 + 2 \times 250} \times 100$$

$$\eta = 98.0 \%$$

R04下 問8



問8 単相変圧器がある。定格二次電圧 200 V において、二次電流が 250 A のときの全損失が 1 525 W であり、同様に二次電圧 200 V において、二次電流が 150 A のときの全損失が 1 125 W であった。この変圧器の無負荷損の値[W]として、最も近いものを(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 400 (2) 525 (3) 576 (4) 900 (5) 1 000

R04下 問8

問8 単相変圧器がある。定格二次電圧 200 V において、二次電流が 250 A のときの全損失が 1525 W であり、同様に二次電圧 200 V において、二次電流が 150 A のときの全損失が 1125 W であった。この変圧器の無負荷損の値[W]として、最も近いものを(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 400 (2) 525 (3) 576 (4) 900 (5) 1000

全損失 = 銅損 P_c + 鉄損 P_i

250 A を定格出力としておく
(基準となる電流を決めたいだけなので定格じゃなくてよい)
このときの全損失は

$$1525 = P_{cn} + P_i$$

150 A 出力時の全損失は

$$1125 = \alpha^2 P_{cn} + P_i = \left(\frac{150}{250}\right)^2 P_{cn} + P_i = \frac{9}{25} P_{cn} + P_i$$

(ここで α は負荷率)

2つの式の差より、

$$1525 - 1125 = P_{cn} - \frac{9}{25} P_{cn}$$
$$\rightarrow \frac{16}{25} P_{cn} = 400 \rightarrow P_{cn} = \frac{25}{16} \times 400 = 625 \text{ W}$$

無負荷損とは鉄損 P_i のことなので、
 $P_{cn} = 625 \text{ W}$ より

$$P_i = 1525 - P_{cn} = 1525 - 625 = 900 \text{ W}$$

R03 問15

問 15 定格容量が $10 \text{ kV}\cdot\text{A}$ で、全負荷における銅損と鉄損の比が $2 : 1$ の単相変圧器がある。力率 1.0 の全負荷における効率が 97% であるとき、次の (a) 及び (b) の問に答えよ。ただし、定格容量とは出力側で見る値であり、鉄損と銅損以外の損失は全て無視するものとする。

(a) 全負荷における銅損は何 $[\text{W}]$ になるか、最も近いものを次の (1) ~ (5) のうちから一つ選べ。

- (1) 357 (2) 206 (3) 200 (4) 119 (5) 115

(b) 負荷の電圧と力率が一定のまま負荷を変化させた。このとき、変圧器の効率が最大となる負荷は全負荷の何 $[\%]$ か、最も近いものを (1) ~ (5) のうちから一つ選べ。

- (1) 25.0 (2) 50.0 (3) 70.7 (4) 100 (5) 141

R03 問15

問 15 定格容量が 10 kV・A で、全負荷における銅損と鉄損の比が 2 : 1 の単相変圧器がある。力率 1.0 の全負荷における効率が 97 % であるとき、次の (a) 及び (b) の間に答えよ。ただし、定格容量とは出力側で見る値であり、鉄損と銅損以外の損失は全て無視するものとする。

(a) 全負荷における銅損は何 [W] になるか、最も近いものを次の (1) ~ (5) のうちから一つ選べ。

銅損 p_{cn} と鉄損 p_i の関係

$$p_{cn} : p_i = 2 : 1 \rightarrow p_{cn} = 2p_i$$

$$\begin{aligned} \eta [\%] &= \frac{P_n \cos\theta}{P_n \cos\theta + p_i + p_{cn}} \times 100 \\ &= \frac{10000 \times 1}{10000 \times 1 + p_i + 2p_i} \times 100 = 97 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{10000}{10000 + 3p_i} \times 100 &= 97 \\ \frac{10000}{10000 + 3p_i} &= 0.97 \\ \frac{10000}{0.97} &= 10000 + 3p_i \\ p_i &= \frac{1}{3} \left(\frac{10000}{0.97} - 10000 \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p_i &= 103 \text{ W} \\ p_{cn} &= 2p_i = 206 \text{ W} \end{aligned}$$

R03 問15

問 15 定格容量が 10 kV・A で、全負荷における銅損と鉄損の比が 2 : 1 の単相変圧器がある。力率 1.0 の全負荷における効率が 97 % であるとき、次の (a) 及び (b) の間に答えよ。ただし、定格容量とは出力側で見る値であり、鉄損と銅損以外の損失は全て無視するものとする。

(b) 負荷の電圧と力率が一定のまま負荷を変化させた。このとき、変圧器の効率が最大となる負荷は全負荷の何 [%] か、最も近いものを (1) ~ (5) のうちから一つ選べ。

銅損 p_{cn} と鉄損 p_i の関係

$$p_{cn} : p_i = 2 : 1 \rightarrow p_{cn} = 2p_i$$

$$p_i = 103 \text{ W}$$

$$p_{cn} = 2p_i = 206 \text{ W}$$

最大効率時は $p_i = p_c$ が成り立つ

$$p_i = p_c = \alpha'^2 p_{cn} \rightarrow \alpha' = \sqrt{\frac{p_i}{p_{cn}}} = \sqrt{\frac{103}{206}} = \sqrt{\frac{1}{2}} = 0.707 \rightarrow 70.7 \%$$

R03 問15

問 15 定格容量が $10 \text{ kV}\cdot\text{A}$ で、全負荷における銅損と鉄損の比が $2 : 1$ の単相変圧器がある。力率 1.0 の全負荷における効率が 97% であるとき、次の (a) 及び (b) の問に答えよ。ただし、定格容量とは出力側で見る値であり、鉄損と銅損以外の損失は全て無視するものとする。

(a) 全負荷における銅損は何 [W] になるか、最も近いものを次の (1) ~ (5) のうちから一つ選べ。

- (1) 357 (2) 206 (3) 200 (4) 119 (5) 115

(b) 負荷の電圧と力率が一定のまま負荷を変化させた。このとき、変圧器の効率が最大となる負荷は全負荷の何 [%] か、最も近いものを (1) ~ (5) のうちから一つ選べ。

- (1) 25.0 (2) 50.0 (3) 70.7 (4) 100 (5) 141

R04上 問8

問8 単相変圧器の一次側に電流計、電圧計及び電力計を接続して、短絡試験を行う。二次側を短絡し、一次側に定格周波数の電圧を供給し、電流計が 40 A を示すように一次側の電圧を調整したところ、電圧計は 80 V、電力計は 1000 W を示した。この変圧器の一次側からみた漏れリアクタンスの値[Ω]として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし、変圧器の励磁回路のインピーダンスは無視し、電流計、電圧計及び電力計は理想的な計器であるものとする。

- (1) 0.63 (2) 1.38 (3) 1.90 (4) 2.00 (5) 2.10

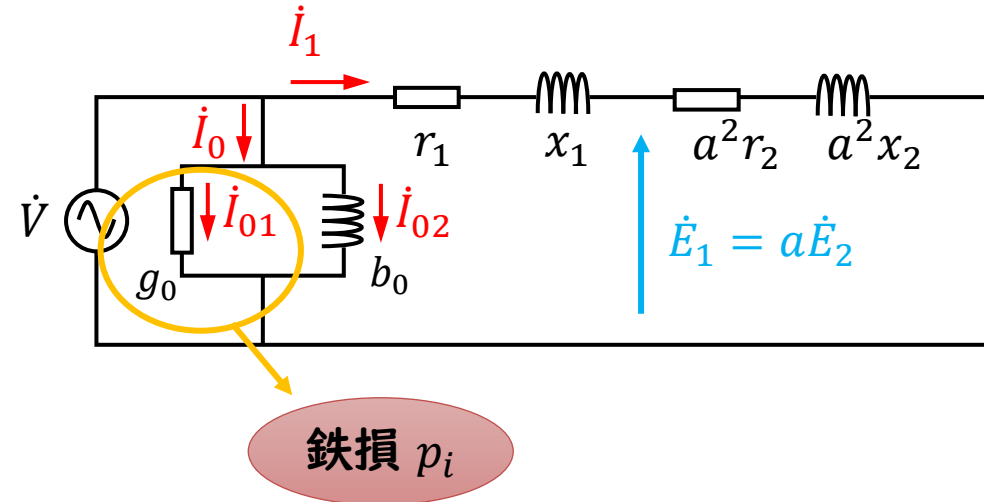
R04上 問8

問8 単相変圧器の一次側に電流計、電圧計及び電力計を接続して、短絡試験を行う。二次側を短絡し、一次側に定格周波数の電圧を供給し、電流計が 40 A を示すように一次側の電圧を調整したところ、電圧計は 80 V、電力計は 1000 W を示した。この変圧器の一次側からみた漏れリアクタンスの値 [Ω] として、最も近いものを次の (1) ~ (5) のうちから一つ選べ。

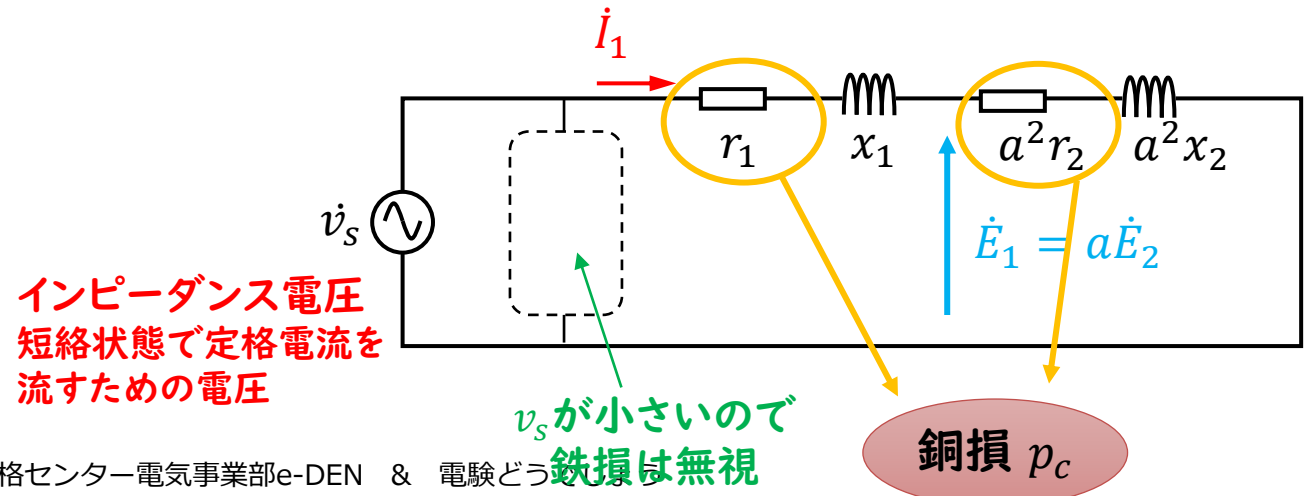
ただし、変圧器の励磁回路のインピーダンスは無視し、電流計、電圧計及び電力計は理想的な計器であるものとする。

- (1) 0.63 (2) 1.38 (3) 1.90 (4) 2.00 (5) 2.10

無負荷試験→鉄損 p_i を測定する試験



短絡試験→銅損 p_c を測定する試験



R04上 問8

問8 単相変圧器の一次側に電流計、電圧計及び電力計を接続して、短絡試験を行う。二次側を短絡し、一次側に定格周波数の電圧を供給し、電流計が 40 A を示すように一次側の電圧を調整したところ、電圧計は 80 V、電力計は 1000 W を示した。この変圧器の一次側からみた漏れリアクタンスの値[Ω]として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし、変圧器の励磁回路のインピーダンスは無視し、電流計、電圧計及び電力計は理想的な計器であるものとする。

- (1) 0.63 (2) 1.38 (3) 1.90 (4) 2.00 (5) 2.10

巻線抵抗 r は

$$P = rI^2 \rightarrow r = \frac{P}{I^2} = \frac{1000}{40^2} = 0.625 \Omega$$

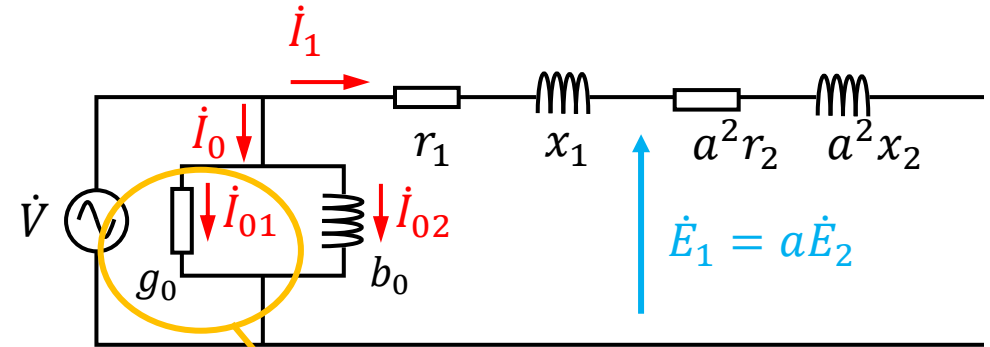
変圧器のインピーダンス z は

$$z = \frac{v_s}{I} = \frac{80}{40} = 2 \Omega$$

変圧器の漏れリアクタンス x は

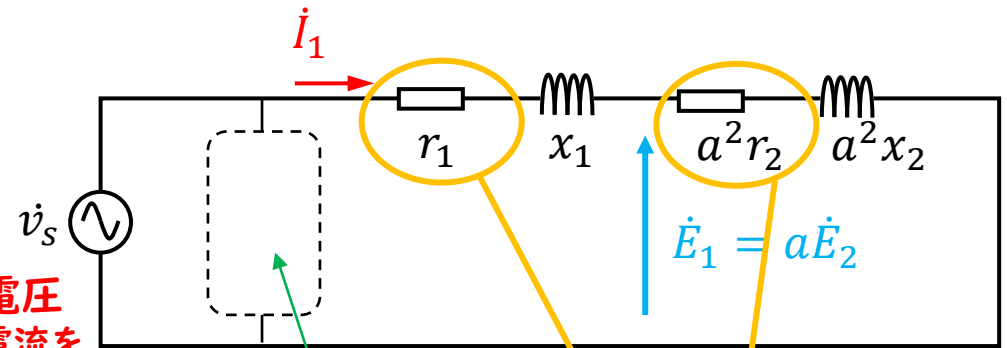
$$x = \sqrt{z^2 - r^2} = \sqrt{2^2 - 0.625^2} = 1.90 \Omega$$

無負荷試験 → 鉄損 p_i を測定する試験



鉄損 p_i

短絡試験 → 銅損 p_c を測定する試験



インピーダンス電圧
短絡状態で定格電流を
流すための電圧

v_s が小さいので
鉄損は無視

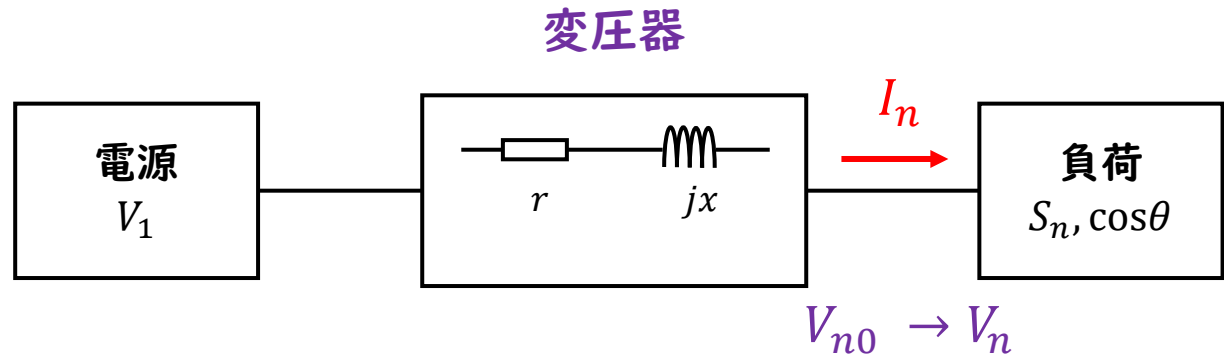
銅損 p_c

R03 問9

問9 定格容量 500kV・A の三相変圧器がある。負荷力率が 1.0 のときの全負荷銅損が 6kW であった。このときの電圧変動率の値[%]として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。ただし、鉄損及び励磁電流は小さく無視できるものとし、簡単のために用いられる電圧変動率の近似式を利用して解答すること。

- (1) 0.7 (2) 1.0 (3) 1.2 (4) 2.5 (5) 3.6

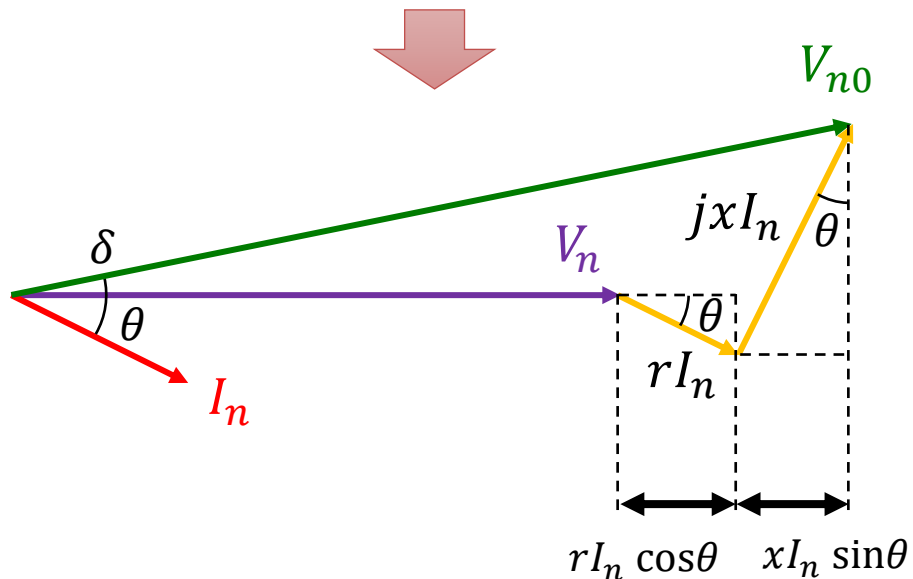
変圧器の電圧降下



V_{n0} と V_n の間の角 (負荷角 δ) が小さいとき、
近似的に以下の等式が成り立つ

$$V_{n0} \sim V_n + rI_n \cos\theta + xI_n \sin\theta$$

変圧器の内部インピーダンスにより電流
が流れることで2次側の電圧が変化する



$$V_{n0} - V_n = rI_n \cos\theta + xI_n \sin\theta$$

$$\varepsilon [\%] = \frac{V_{n0} - V_n}{V_n} \times 100 = \frac{rI_n}{V_n} \times 100 \times \cos\theta + \frac{xI_n}{V_n} \times 100 \times \sin\theta$$

$$\varepsilon [\%] = p \cos\theta + q \sin\theta$$

$$p [\%] = \frac{rI_n}{V_n} \times 100$$

$$q [\%] = \frac{xI_n}{V_n} \times 100$$

ε : 電圧変動率 [%]
 p : %抵抗降下 [%]
 q : %リアクタンス降下 [%]

電圧変動率とパーセントインピーダンス ×



$$\varepsilon [\%] = p \cos \theta + q \sin \theta$$

$$p [\%] = \frac{r I_n}{V_n} \times 100 = \frac{r}{Z_{BASE}} \times 100$$

$$q [\%] = \frac{x I_n}{V_n} \times 100 = \frac{x}{Z_{BASE}} \times 100$$

$$z = \sqrt{r^2 + x^2} \rightarrow z \times \frac{100}{Z_{BASE}} = \sqrt{r^2 + x^2} \times \frac{100}{Z_{BASE}}$$

$$z \times \frac{100}{Z_{BASE}} = \sqrt{r^2 \times \left(\frac{100}{Z_{BASE}}\right)^2 + x^2 \times \left(\frac{100}{Z_{BASE}}\right)^2}$$

$$\%Z = \sqrt{p^2 + q^2}$$

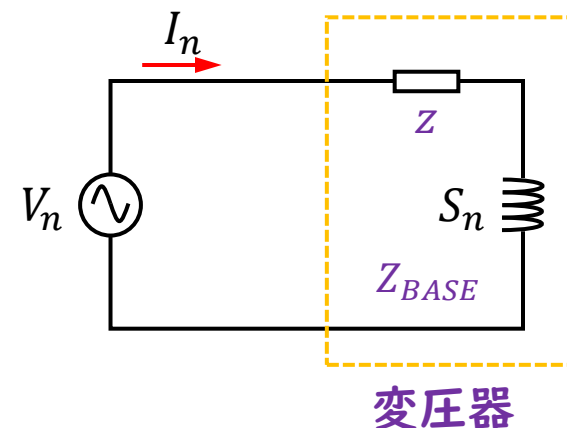
- ε : 電圧変動率 [%]
- p : %抵抗降下 [%]
- q : %リアクタンス降下 [%]

基準インピーダンス

$$Z_{BASE} = \frac{(\text{定格電圧})^2}{(\text{定格電力})} = \frac{V_n^2}{S_n} = \frac{(\text{定格電圧})}{(\text{定格電流})} = \frac{V_n}{I_n}$$

パーセントインピーダンス

$$\%Z = \frac{(\text{実インピーダンス})}{(\text{基準インピーダンス})} \times 100 = \frac{z}{Z_{BASE}} \times 100 [\%]$$



R03 問9

問9 定格容量 500kV・A の三相変圧器がある。負荷力率が 1.0 のときの全負荷銅損が 6kW であった。このときの電圧変動率の値[%]として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。ただし、鉄損及び励磁電流は小さく無視できるものとし、簡単のために用いられる電圧変動率の近似式を利用して解答すること。

- (1) 0.7 (2) 1.0 (3) 1.2 (4) 2.5 (5) 3.6

%抵抗降下 p を求める

$$p = \frac{rI_n}{V_n} \times 100 = \frac{rI_n^2}{V_n I_n} \times 100 = \frac{3rI_n^2}{3V_n I_n} \times 100 = \frac{P_r}{S_n} \times 100$$
$$= \frac{6 \text{ kW}}{500 \text{ kVA}} \times 100 = 1.2 \%$$

電圧変動率を求める

$$\varepsilon = p \cos \theta + q \sin \theta$$
$$= 1.2 \times 1 + 0 = 1.2 \%$$

$$\varepsilon [\%] = p \cos \theta + q \sin \theta$$

$$p [\%] = \frac{rI_n}{V_n} \times 100$$

$$q [\%] = \frac{xI_n}{V_n} \times 100$$

ε : 電圧変動率 [%]

p : %抵抗降下 [%]

q : %リアクタンス降下 [%]

$$\%Z = \frac{Z}{Z_{BASE}} \times 100 [\%]$$

$$\%Z = \frac{zI_n}{V_n} \times 100 [\%]$$

$$\%Z = \sqrt{p^2 + q^2}$$



ご聴講ありがとうございました!!

R01 問8

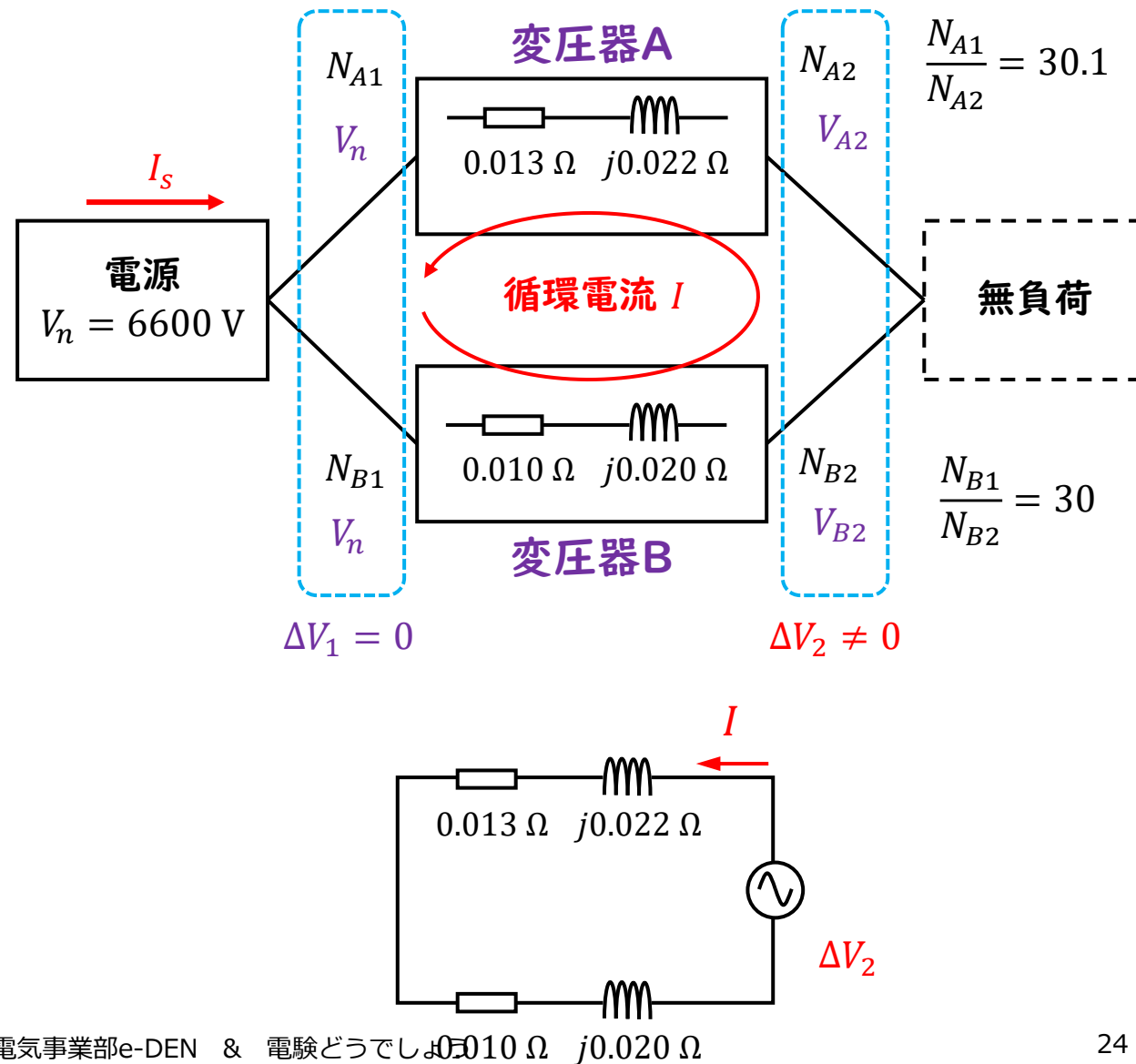
問8 2台の単相変圧器があり、それぞれ、巻数比(一次巻数/二次巻数)が30.1, 30.0, 二次側に換算した巻線抵抗及び漏れリアクタンスからなるインピーダンスが $(0.013 + j0.022) \Omega$, $(0.010 + j0.020) \Omega$ である。この2台の変圧器を並列接続し二次側を無負荷として、一次側に6600Vを加えた。この2台の変圧器の二次巻線間を循環して流れる電流の値[A]として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。ただし、励磁回路のアドミタンスの影響は無視するものとする。

- (1) 4.1 (2) 11.2 (3) 15.3 (4) 30.6 (5) 61.3

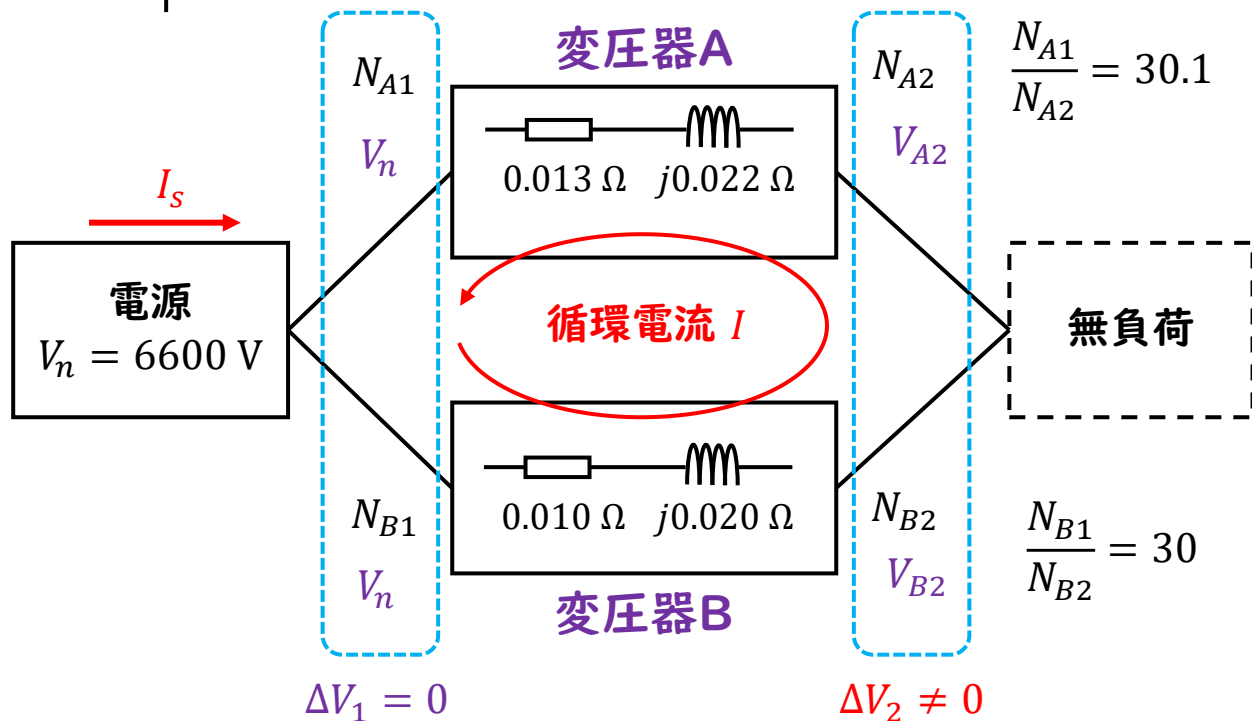
導出のポイント

問8 2台の単相変圧器があり、それぞれ、巻数比(一次巻数/二次巻数)が30.1, 30.0, 二次側に換算した巻線抵抗及び漏れリアクタンスからなるインピーダンスが $(0.013 + j0.022) \Omega$, $(0.010 + j0.020) \Omega$ である。この2台の変圧器を並列接続し二次側を無負荷として、一次側に6600Vを加えた。この2台の変圧器の二次巻線間を循環して流れる電流の値[A]として、最も近いものを次の(1)~(5)のうちから一つ選べ。ただし、励磁回路のアドミタンスの影響は無視するものとする。

- (1) 4.1 (2) 11.2 (3) 15.3 (4) 30.6 (5) 61.3



導出のポイント



ΔV_2 を求める

$$V_{A2} = \frac{N_{A2}}{N_{A1}} \times V_n = \frac{1}{30.1} \times 6600 = 219.27 \text{ V}$$

$$V_{B2} = \frac{N_{B2}}{N_{B1}} \times V_n = \frac{1}{30} \times 6600 = 220 \text{ V}$$

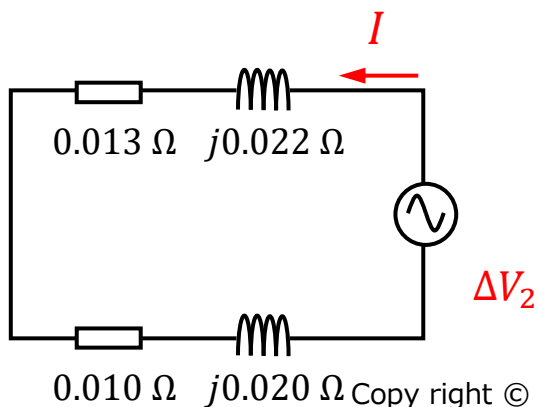
$$\Delta V_2 = V_{B2} - V_{A2} = 220 - 219.27 = 0.73 \text{ V}$$

循環電流 I を求める

$$\begin{aligned} Z &= 0.013 + j0.022 + 0.010 + j0.020 \\ &= 0.023 + j0.042 \Omega \end{aligned}$$

$$Z = \sqrt{0.023^2 + 0.042^2} = 0.048 \Omega$$

$$I = \frac{\Delta V_2}{Z} = \frac{0.73}{0.048} = 15.2 \text{ A}$$



R01 問8

問8 2台の単相変圧器があり、それぞれ、巻数比(一次巻数/二次巻数)が30.1, 30.0, 二次側に換算した巻線抵抗及び漏れリアクタンスからなるインピーダンスが $(0.013 + j0.022) \Omega$, $(0.010 + j0.020) \Omega$ である。この2台の変圧器を並列接続し二次側を無負荷として、一次側に6600Vを加えた。この2台の変圧器の二次巻線間を循環して流れる電流の値[A]として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。ただし、励磁回路のアドミタンスの影響は無視するものとする。

- (1) 4.1 (2) 11.2 (3) 15.3 (4) 30.6 (5) 61.3