

電験どうでしょう管理人  
*KWG presents*

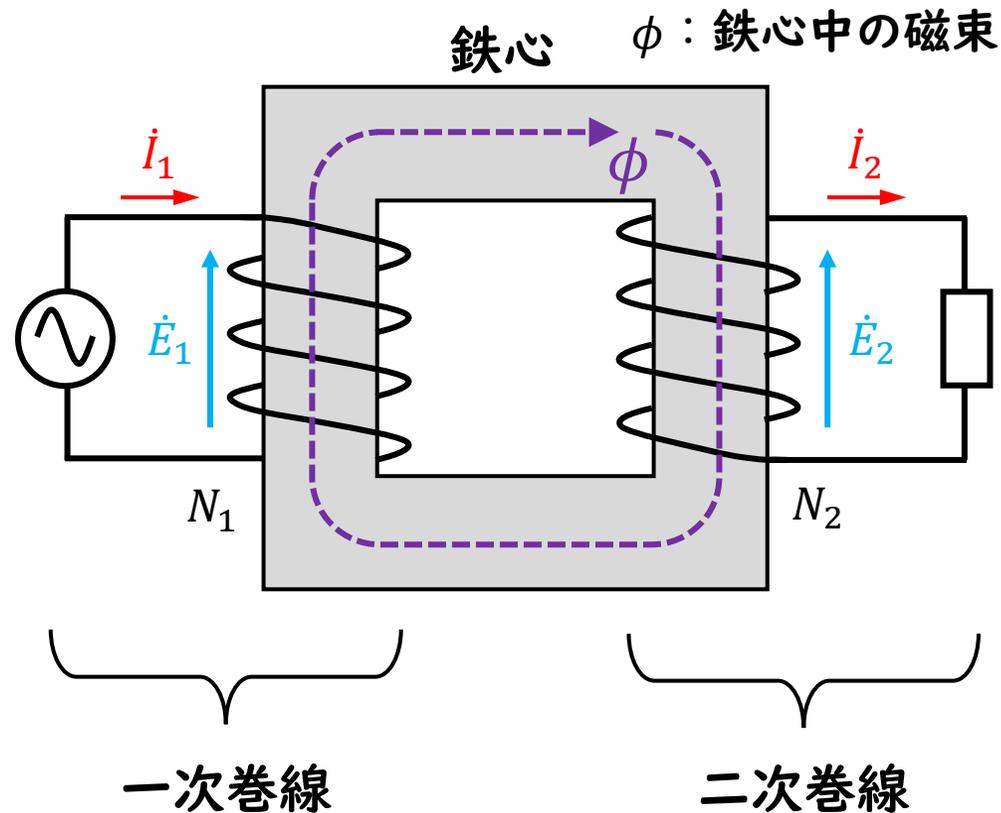
# 短期集中講座

## 第7回 変圧器

2023.11.19 Mon

# 変圧器の基本特性

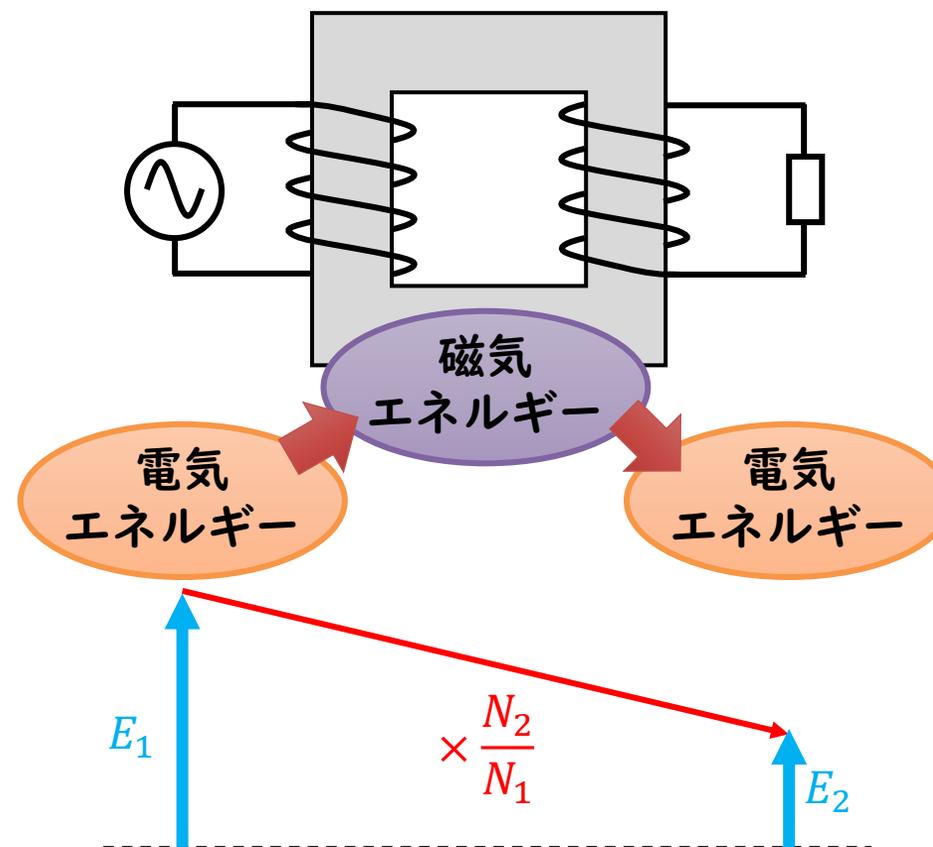
# 変圧器の基本特性



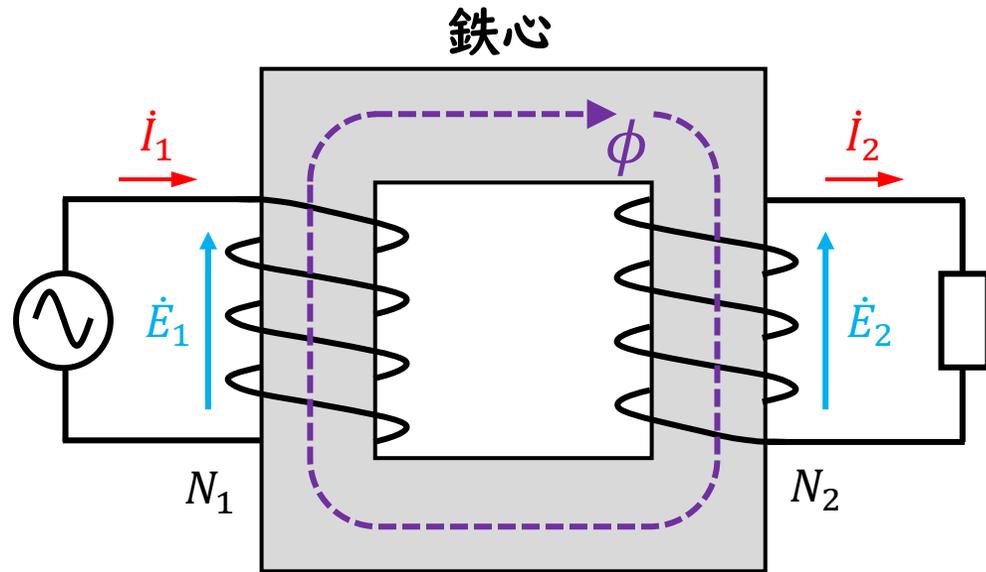
$N_1$  : 一次巻線の巻数  
 $E_1$  : 一次側電圧  
 $I_1$  : 一次側電流

$N_2$  : 二次巻線の巻数  
 $E_2$  : 二次側電圧  
 $I_2$  : 二次側電流

変圧器とは、  
 電磁誘導を利用して交流電圧の電圧の大きさを  
 変換する電気機器



# 変圧器の基本特性



$$e_1 = \sqrt{2}E_1 \sin \omega t \quad e_2 = \sqrt{2}E_2 \sin \omega t \quad \phi = -\phi_m \cos \omega t$$

$$\begin{aligned} e_1 &= \frac{d\phi'}{dt} = \frac{dN_1\phi}{dt} = N_1 \frac{d\phi}{dt} \\ &= N_1 \frac{d}{dt} (-\phi_m \cos \omega t) \\ &= \omega N_1 \phi_m \sin \omega t \end{aligned}$$

※ここでは計算しやすいように定義

$$\begin{aligned} \sqrt{2}E_1 \sin \omega t &= \omega N_1 \phi_m \sin \omega t \\ E_1 &= \frac{\omega N_1}{\sqrt{2}} \phi_m = \frac{2\pi f N_1}{\sqrt{2}} \phi_m = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f N_1 \phi_m \end{aligned}$$

$$E_1 = 4.44 f N_1 \phi_m \quad \textcircled{1}$$

$$\begin{aligned} e_2 &= \frac{d\phi'}{dt} = \frac{dN_2\phi}{dt} = N_2 \frac{d\phi}{dt} \\ &= N_2 \frac{d}{dt} (-\phi_m \cos \omega t) \\ &= \omega N_2 \phi_m \sin \omega t \end{aligned}$$

①と②より

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{4.44 f N_1 \phi_m}{4.44 f N_2 \phi_m}$$

$$\therefore \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

<一次側電圧 $E_1$ と二次側電圧 $E_2$ の関係の導出>

ファラデーの法則

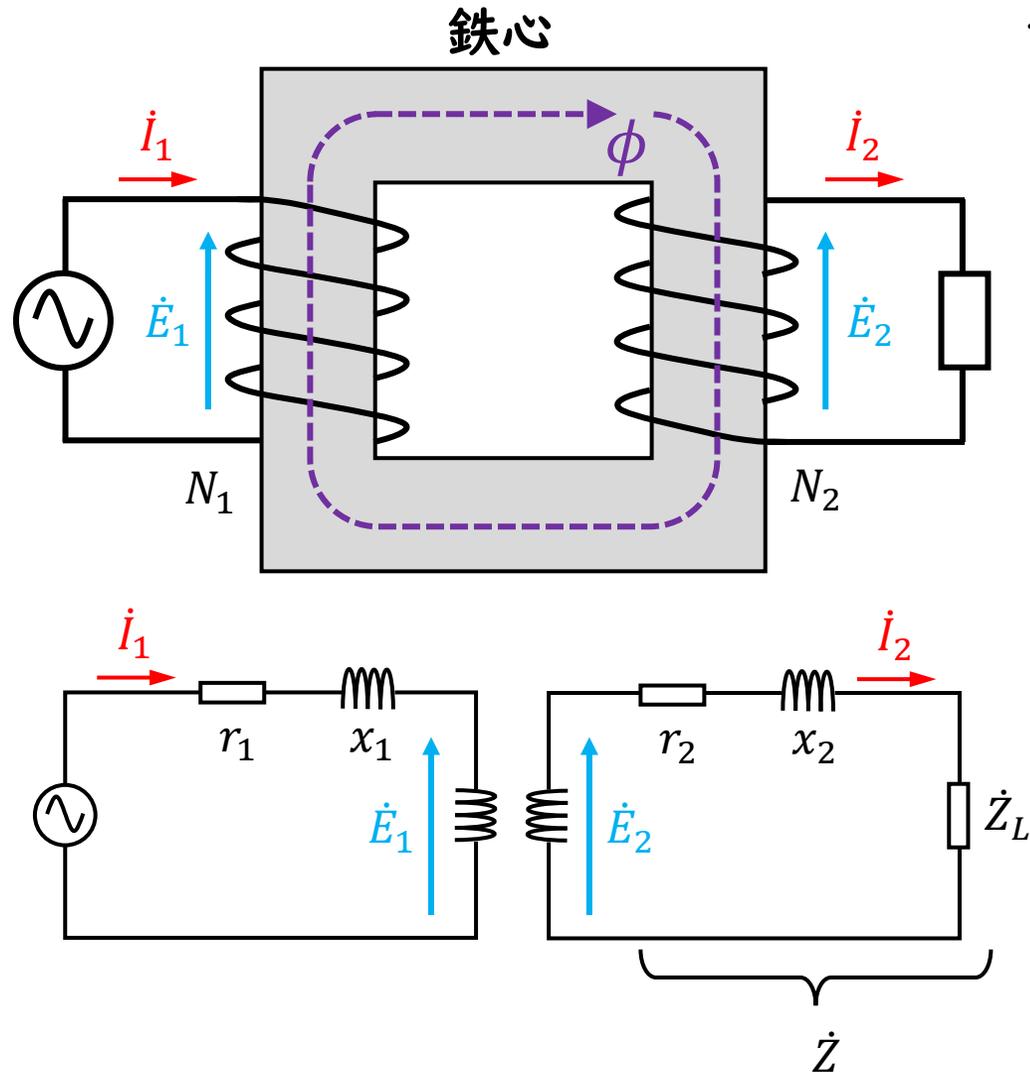
$$V = \frac{d\phi'}{dt}$$

$\phi'$  : 鎖交磁束

(鎖交磁束) = (巻数) × (磁束)

Copy right © 電験どう  $E_2 = 4.44 f N_2 \phi_m \quad \textcircled{2}$

# 変圧器の等価回路 (超簡易版)



<一次側と二次側の関係>

$$a = \frac{N_1}{N_2} \quad a : \text{巻線比}$$

電験では一次側が高圧 (超高压)、  
二次側が低圧 (高圧) なので巻線比  
はだいたい1より大きい値

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \rightarrow E_1 = \frac{N_1}{N_2} E_2 \rightarrow \therefore E_1 = a E_2$$

一次側と二次側の電力は変わらないので  
 $S_1 = S_2 \rightarrow E_1 I_1 = E_2 I_2 \rightarrow a E_2 I_1 = E_2 I_2$

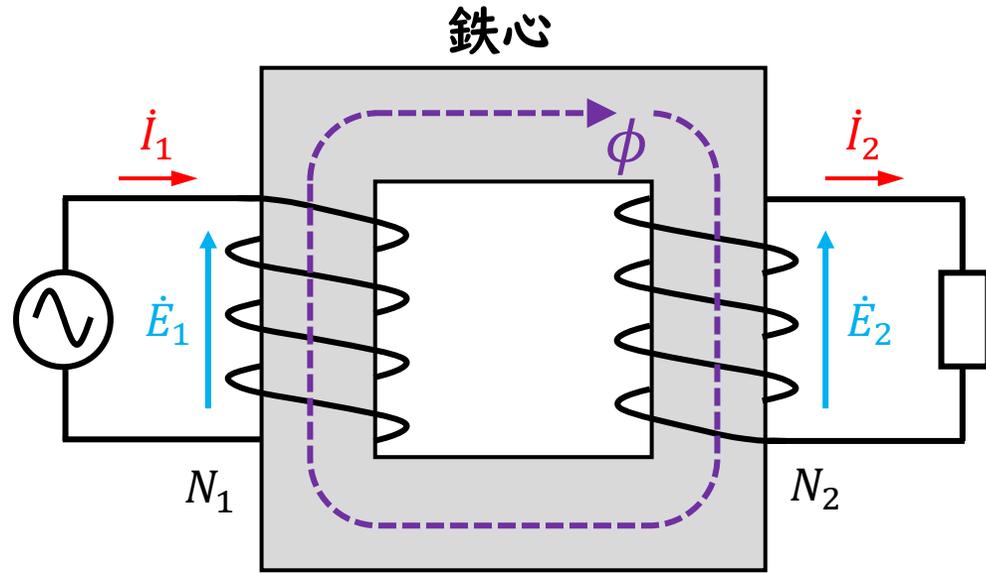
$$a I_1 = I_2 \rightarrow \therefore I_1 = \frac{1}{a} I_2$$

一次側からみえる負荷Zの大きさZ'

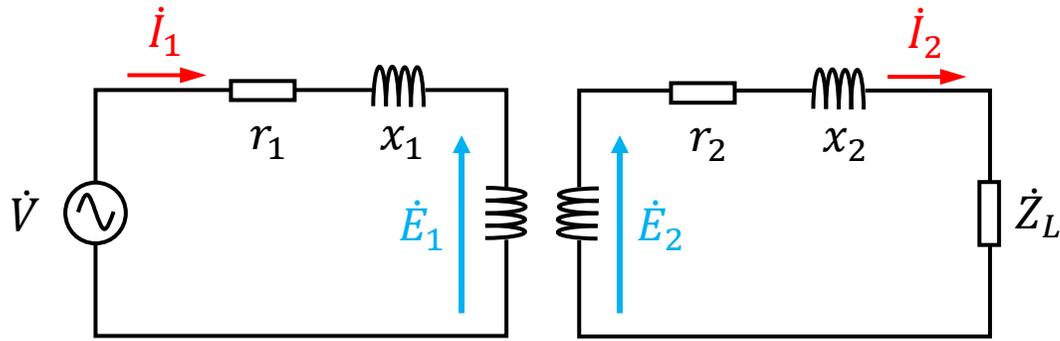
$$Z = \frac{E_2}{I_2}$$

$$Z' = \frac{E_1}{I_1} = \frac{a E_2}{\frac{1}{a} I_2} = a^2 \frac{E_2}{I_2} = a^2 Z \rightarrow \therefore Z' = a^2 Z$$

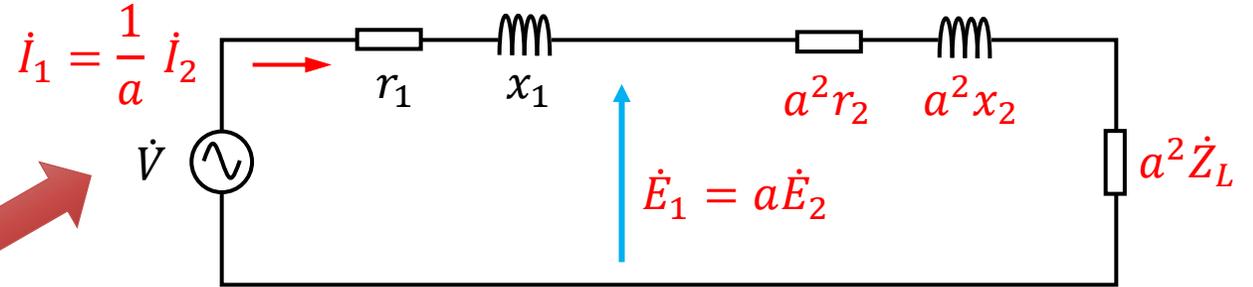
# 変圧器の等価回路 (超簡易版)



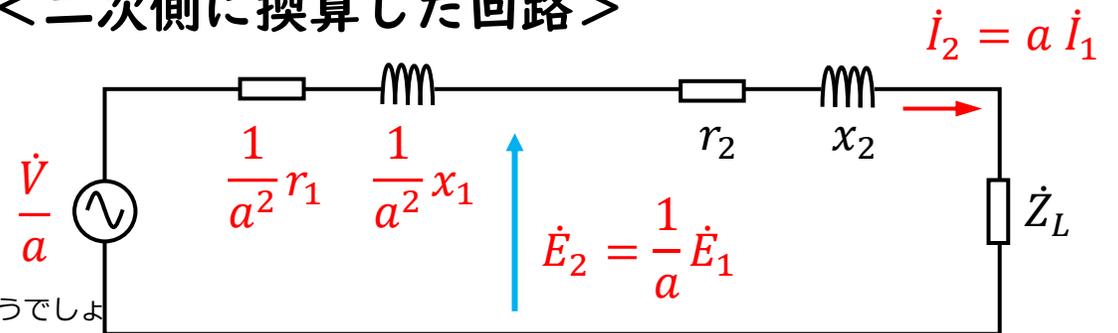
電気回路の要素	一次側	二次側
電力	1	1
電圧	$a$	1
電流	$1/a$	1
一次側からみた二次側負荷	$a^2$	1



<一次側に換算した回路>



<二次側に換算した回路>



# H26 問7

問7 次の文章は、単相変圧器の簡易等価回路に関する記述である。

変圧器の電氣的な特性を考える場合、等価回路を利用すると都合がよい。  
 また、等価回路は負荷も含めた電気回路として考えると便利であり、特に二次側の諸量を一次側に置き換え、一次側の回路はそのままとした「一次側に換算した簡易等価回路」は広く利用されている。

一次巻線の巻数を  $N_1$ 、二次巻線の巻数を  $N_2$  とすると、巻数比  $a$  は  $a = \frac{N_1}{N_2}$  で表され、この  $a$  を使用すると二次側諸量の一次側への換算は以下のように表される。

$\dot{V}_2'$  : 二次電圧  $\dot{V}_2$  を一次側に換算したもの  $\dot{V}_2' = \boxed{\text{(ア)}} \cdot \dot{V}_2$

$\dot{I}_2'$  : 二次電流  $\dot{I}_2$  を一次側に換算したもの  $\dot{I}_2' = \boxed{\text{(イ)}} \cdot \dot{I}_2$

$r_2'$  : 二次抵抗  $r_2$  を一次側に換算したもの  $r_2' = \boxed{\text{(ウ)}} \cdot r_2$

$x_2'$  : 二次漏れリアクタンス  $x_2$  を一次側に換算したもの  $x_2' = \boxed{\text{(エ)}} \cdot x_2$

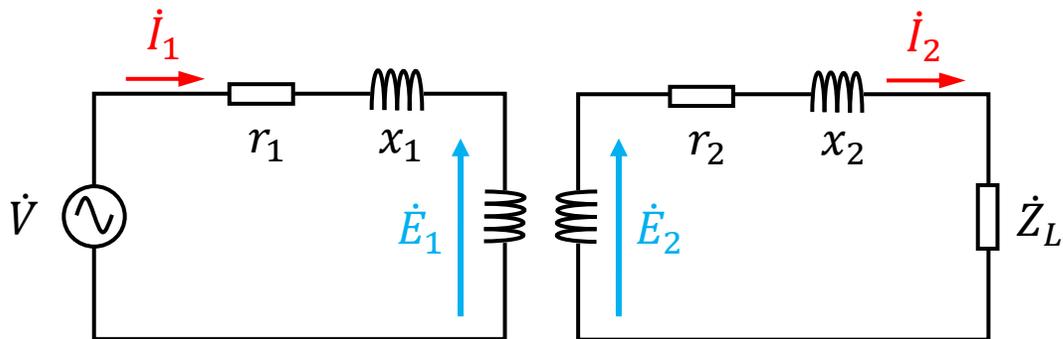
$\dot{Z}_L'$  : 負荷インピーダンス  $\dot{Z}_L$  を一次側に換算したもの  $\dot{Z}_L' = \boxed{\text{(オ)}} \cdot \dot{Z}_L$

ただし、' (ダッシュ) の付いた記号は、二次側諸量を一次側に換算したものとし、' (ダッシュ) のない記号は二次側諸量とする。

上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)、(ウ)、(エ)及び(オ)に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)	(オ)
(1)	$a$	$\frac{1}{a}$	$a^2$	$a^2$	$a^2$
(2)	$\frac{1}{a}$	$a$	$a^2$	$a^2$	$a$
(3)	$a$	$\frac{1}{a}$	$\frac{1}{a^2}$	$\frac{1}{a^2}$	$\frac{1}{a^2}$
(4)	$\frac{1}{a}$	$a$	$\frac{1}{a^2}$	$\frac{1}{a^2}$	$a^2$
(5)	$\frac{1}{a}$	$a$	$\frac{1}{a^2}$	$\frac{1}{a^2}$	$\frac{1}{a^2}$

# 導出のポイント



一次巻線の巻数を  $N_1$ 、二次巻線の巻数を  $N_2$  とすると、巻数比  $a$  は  $a = \frac{N_1}{N_2}$  で表され、この  $a$  を使用すると二次側諸量の一次側への換算は以下のように表される。

$\dot{V}_2'$ : 二次電圧  $\dot{V}_2$  を一次側に換算したもの  $\dot{V}_2' = \boxed{ア}$   $\cdot \dot{V}_2$

$\dot{I}_2'$ : 二次電流  $\dot{I}_2$  を一次側に換算したもの  $\dot{I}_2' = \boxed{イ}$   $\cdot \dot{I}_2$

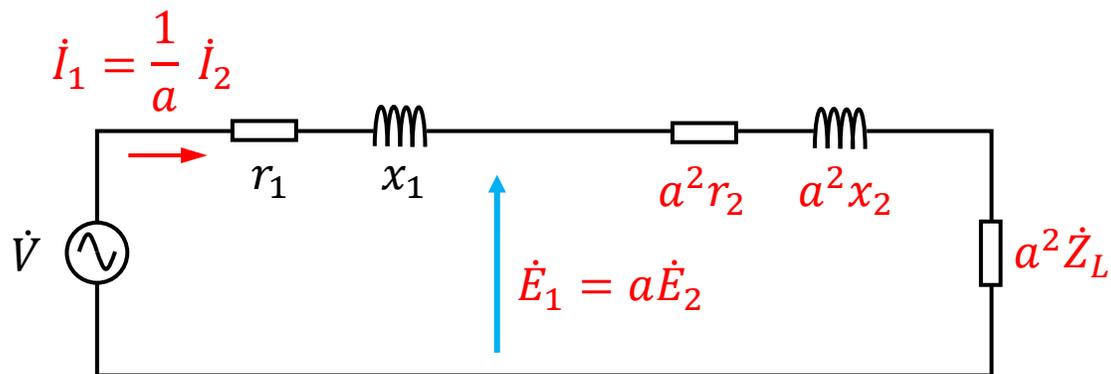
$r_2'$ : 二次抵抗  $r_2$  を一次側に換算したもの  $r_2' = \boxed{ウ}$   $\cdot r_2$

$x_2'$ : 二次漏れリアクタンス  $x_2$  を一次側に換算したもの  $x_2' = \boxed{エ}$   $\cdot x_2$

$\dot{Z}_L'$ : 負荷インピーダンス  $\dot{Z}_L$  を一次側に換算したもの  $\dot{Z}_L' = \boxed{オ}$   $\cdot \dot{Z}_L$

ただし、' (ダッシュ) の付いた記号は、二次側諸量を一次側に換算したものとし、' (ダッシュ) のない記号は二次側諸量とする。

## <一次側に換算した回路>



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

# H26 問7

問7 次の文章は、単相変圧器の簡易等価回路に関する記述である。

変圧器の電氣的な特性を考える場合、等価回路を利用すると都合がよい。  
 また、等価回路は負荷も含めた電気回路として考えると便利であり、特に二次側の諸量を一次側に置き換え、一次側の回路はそのままとした「一次側に換算した簡易等価回路」は広く利用されている。

一次巻線の巻数を  $N_1$ 、二次巻線の巻数を  $N_2$  とすると、巻数比  $a$  は  $a = \frac{N_1}{N_2}$  で表され、この  $a$  を使用すると二次側諸量の一次側への換算は以下のように表される。

$\dot{V}_2'$  : 二次電圧  $\dot{V}_2$  を一次側に換算したもの  $\dot{V}_2' = \boxed{\text{(ア)}} \cdot \dot{V}_2$

$\dot{I}_2'$  : 二次電流  $\dot{I}_2$  を一次側に換算したもの  $\dot{I}_2' = \boxed{\text{(イ)}} \cdot \dot{I}_2$

$r_2'$  : 二次抵抗  $r_2$  を一次側に換算したもの  $r_2' = \boxed{\text{(ウ)}} \cdot r_2$

$x_2'$  : 二次漏れリアクタンス  $x_2$  を一次側に換算したもの  $x_2' = \boxed{\text{(エ)}} \cdot x_2$

$\dot{Z}_L'$  : 負荷インピーダンス  $\dot{Z}_L$  を一次側に換算したもの  $\dot{Z}_L' = \boxed{\text{(オ)}} \cdot \dot{Z}_L$

ただし、' (ダッシュ) の付いた記号は、二次側諸量を一次側に換算したものとし、' (ダッシュ) のない記号は二次側諸量とする。

上記の記述中の空白箇所(ア)、(イ)、(ウ)、(エ)及び(オ)に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)	(オ)
(1)	$a$	$\frac{1}{a}$	$a^2$	$a^2$	$a^2$
(2)	$\frac{1}{a}$	$a$	$a^2$	$a^2$	$a$
(3)	$a$	$\frac{1}{a}$	$\frac{1}{a^2}$	$\frac{1}{a^2}$	$\frac{1}{a^2}$
(4)	$\frac{1}{a}$	$a$	$\frac{1}{a^2}$	$\frac{1}{a^2}$	$a^2$
(5)	$\frac{1}{a}$	$a$	$\frac{1}{a^2}$	$\frac{1}{a^2}$	$\frac{1}{a^2}$

# H30 問15

問 15 無負荷で一次電圧 6 600 V，二次電圧 200 V の単相変圧器がある。一次巻線抵抗  $r_1 = 0.6 \Omega$ ，一次巻線漏れリアクタンス  $x_1 = 3 \Omega$ ，二次巻線抵抗  $r_2 = 0.5 \text{ m}\Omega$ ，二次巻線漏れリアクタンス  $x_2 = 3 \text{ m}\Omega$  である。計算に当たっては，二次側の諸量を一次側に換算した簡易等価回路を用い，励磁回路は無視するものとして，次の (a) 及び (b) の間に答えよ。

(a) この変圧器の一次側に換算したインピーダンスの大きさ [ $\Omega$ ] として，最も近いものを次の (1)～(5) のうちから一つ選べ。

- (1) 1.15      (2) 3.60      (3) 6.27      (4) 6.37      (5) 7.40

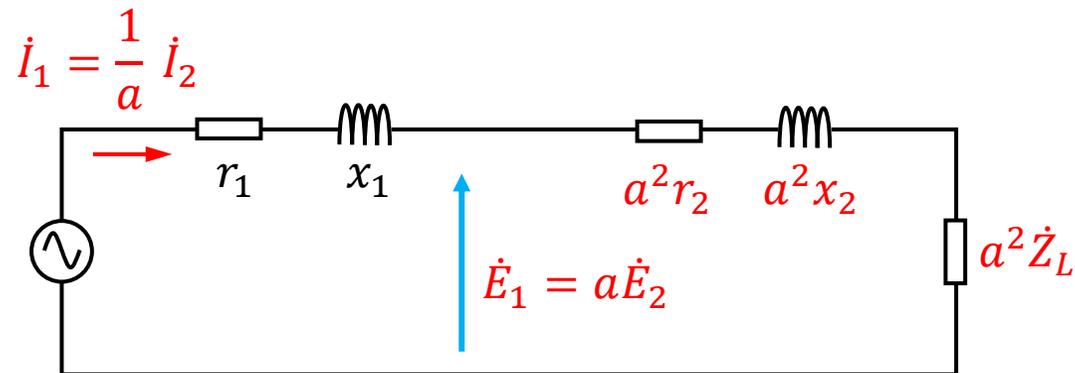
(b) この変圧器の二次側を 200 V に保ち，容量 200 kV·A，力率 0.8(遅れ)の負荷を接続した。このときの一次電圧の値 [V] として，最も近いものを次の (1)～(5) のうちから一つ選べ。

- (1) 6 600      (2) 6 700      (3) 6 740      (4) 6 800      (5) 6 840

# H30 問15

## <一次側に換算した回路>

問15 無負荷で一次電圧 6 600 V，二次電圧 200 V の単相変圧器がある。一次巻線抵抗  $r_1 = 0.6 \Omega$ ，一次巻線漏れリアクタンス  $x_1 = 3 \Omega$ ，二次巻線抵抗  $r_2 = 0.5 \text{ m}\Omega$ ，二次巻線漏れリアクタンス  $x_2 = 3 \text{ m}\Omega$  である。計算に当たっては，二次側の諸量を一次側に換算した簡易等価回路を用い，励磁回路は無視するものとして，次の(a)及び(b)の間に答えよ。



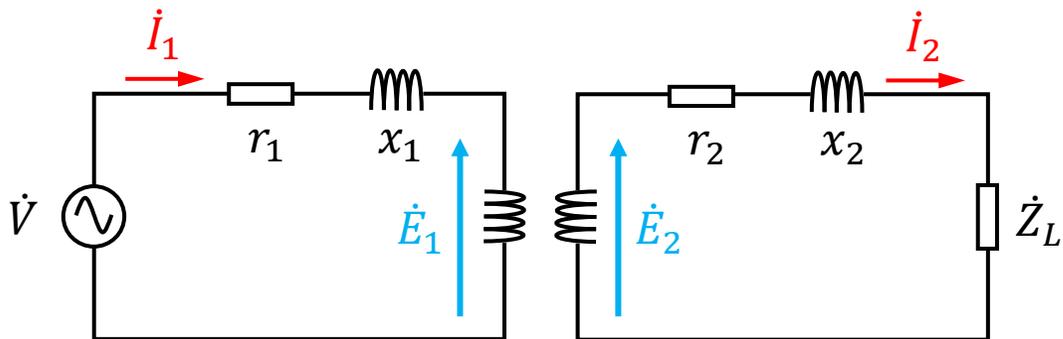
(a) この変圧器の一次側に換算したインピーダンスの大きさ [ $\Omega$ ] として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 1.15      (2) 3.60      (3) 6.27      (4) 6.37      (5) 7.40

(b) この変圧器の二次側を 200 V に保ち，容量 200 kV·A，力率 0.8(遅れ)の負荷を接続した。このときの一次電圧の値 [V] として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 6 600      (2) 6 700      (3) 6 740      (4) 6 800      (5) 6 840

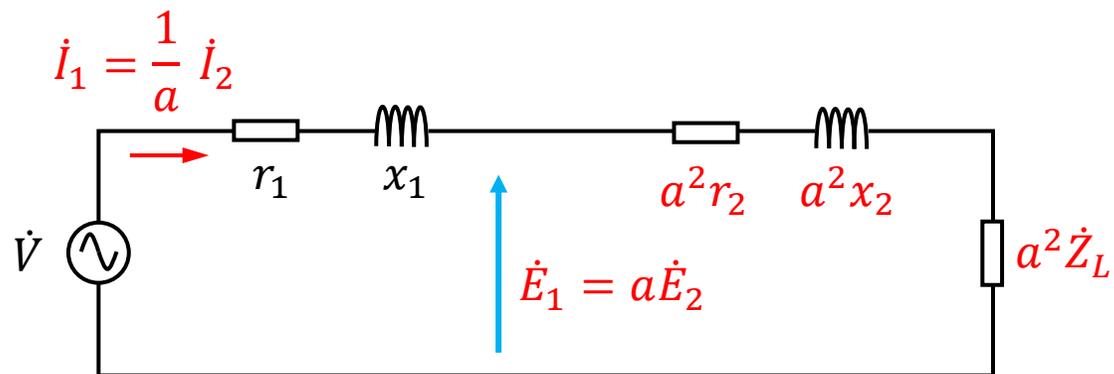
# 導出のポイント



問 15 無負荷で一次電圧 6 600 V，二次電圧 200 V の単相変圧器がある。一次巻線抵抗  $r_1 = 0.6 \Omega$ ，一次巻線漏れリアクタンス  $x_1 = 3 \Omega$ ，二次巻線抵抗  $r_2 = 0.5 \text{ m}\Omega$ ，二次巻線漏れリアクタンス  $x_2 = 3 \text{ m}\Omega$  である。計算に当たっては，二次側の諸量を一次側に換算した簡易等価回路を用い，励磁回路は無視するものとして，次の(a)及び(b)の間に答えよ。

(a) この変圧器の一次側に換算したインピーダンスの大きさ  $[\Omega]$  として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

<一次側に換算した回路>



巻線比を求める

$$a = \frac{E_1}{E_2} = \frac{6600}{200} = 33$$

一次側に換算した回路をもとにインピーダンスを求める

$$r_2' = a^2 r_2 = 33^2 \times 0.5 = 544.5 \text{ m}\Omega = 0.545 \Omega$$

$$x_2' = a^2 x_2 = 33^2 \times 3 = 3267 \text{ m}\Omega = 3.267 \Omega$$

$$\begin{aligned} \dot{Z} &= r_1 + r_2' + j(x_1 + x_2') = 0.6 + 0.545 + j(3 + 3.267) \\ &= 1.145 + j6.267 \end{aligned}$$

$$Z = \sqrt{1.145^2 + 6.267^2} = 6.371 \Omega$$

# H30 問15

問 15 無負荷で一次電圧 6 600 V，二次電圧 200 V の単相変圧器がある。一次巻線抵抗  $r_1 = 0.6 \Omega$ ，一次巻線漏れリアクタンス  $x_1 = 3 \Omega$ ，二次巻線抵抗  $r_2 = 0.5 \text{ m}\Omega$ ，二次巻線漏れリアクタンス  $x_2 = 3 \text{ m}\Omega$  である。計算に当たっては，二次側の諸量を一次側に換算した簡易等価回路を用い，励磁回路は無視するものとして，次の (a) 及び (b) の間に答えよ。

(a) この変圧器の一次側に換算したインピーダンスの大きさ [ $\Omega$ ] として，最も近いものを次の (1)～(5) のうちから一つ選べ。

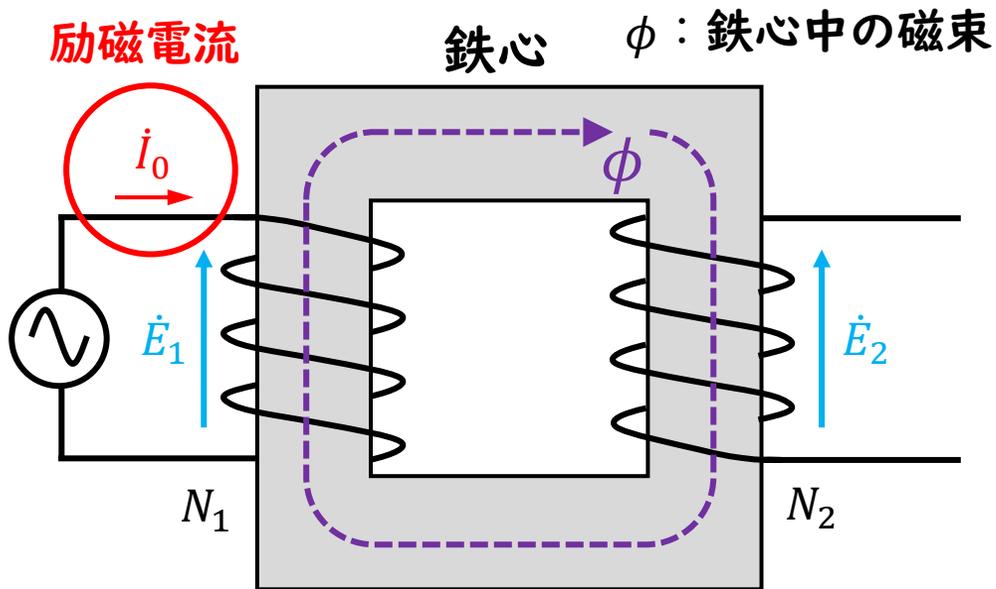
- (1) 1.15      (2) 3.60      (3) 6.27      (4) 6.37      (5) 7.40

(b) この変圧器の二次側を 200 V に保ち，容量 200 kV·A，力率 0.8(遅れ)の負荷を接続した。このときの一次電圧の値 [V] として，最も近いものを次の (1)～(5) のうちから一つ選べ。

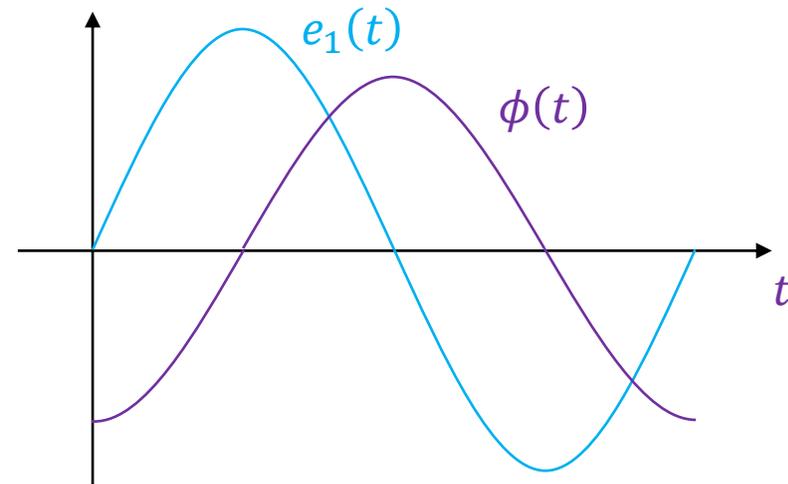
- (1) 6 600      (2) 6 700      (3) 6 740      (4) 6 800      (5) 6 840

# 変圧器の損失

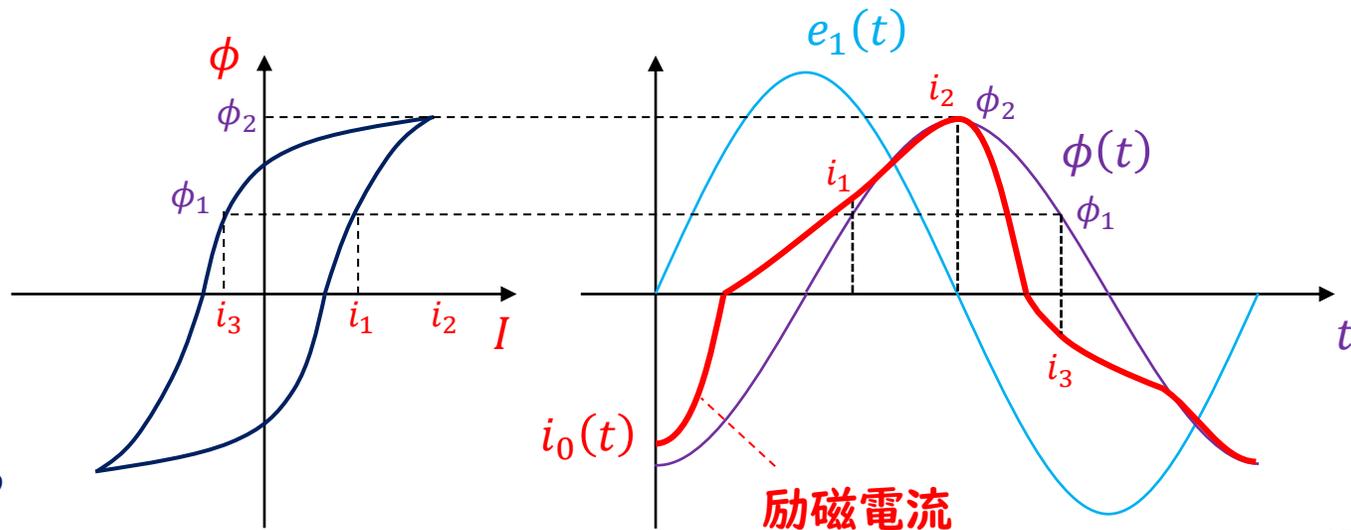
# 変圧器の無負荷特性



<一次側電圧と磁束の関係>



<磁束と電流の関係>  
 $B-H$  曲線  $\rightarrow$   $\phi-I$  曲線



二次側の負荷を開放しても一次側に電流が流れる

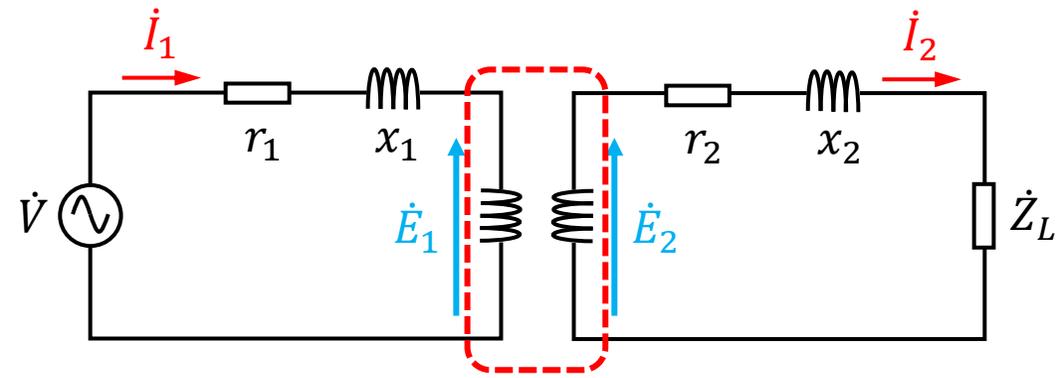
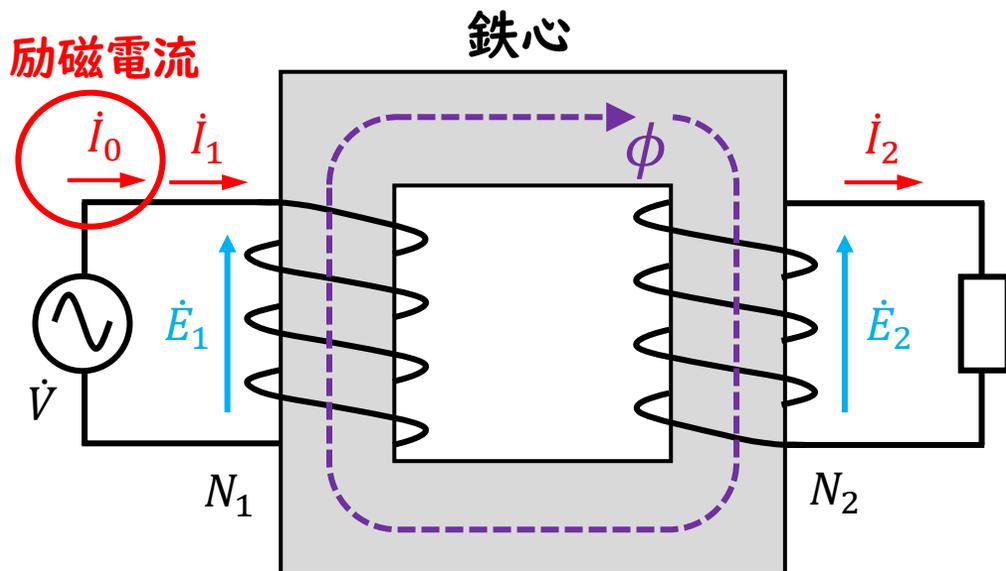
$\rightarrow$  励磁電流 (無負荷電流)

$\rightarrow$  磁化電流: 磁束を作るための電流

$\rightarrow$  損失電流: 鉄心中で熱 (鉄損) になる電流

$$H = \frac{I}{2\pi r} \rightarrow H \propto I, B = \frac{\phi}{S} \rightarrow B \propto \phi$$

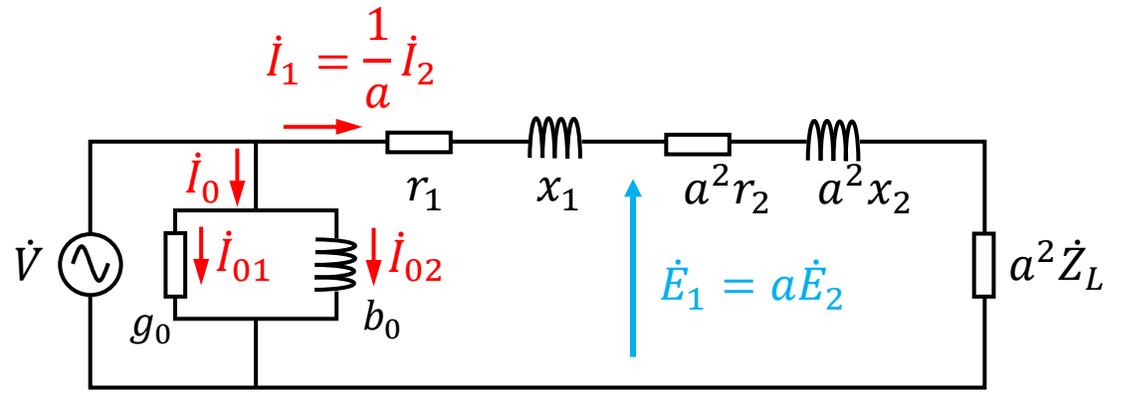
# 励磁電流を含む変圧器の等価回路



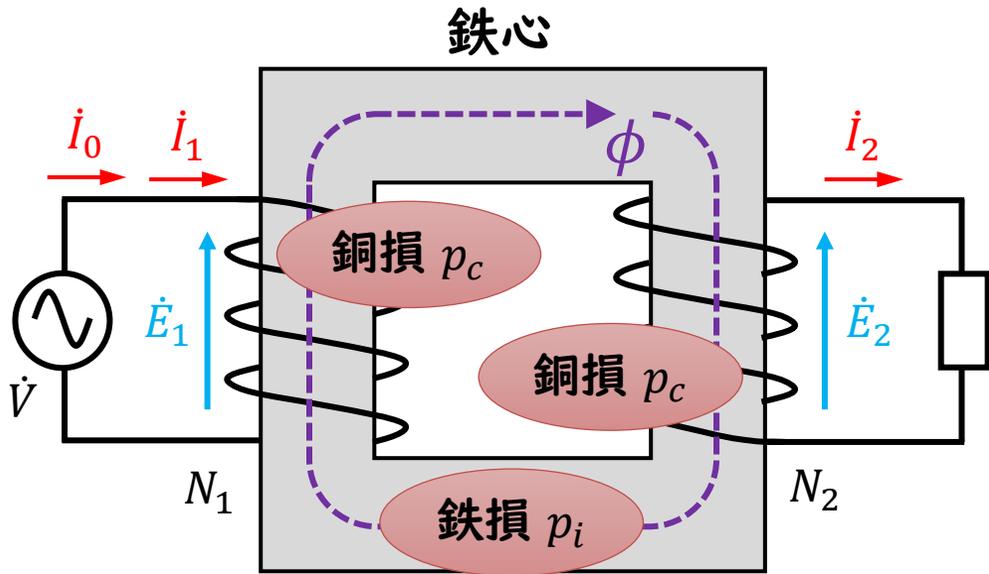
<変圧器の簡易等価回路>

- 負荷を接続すると、一次側に以下の電流が流れる
- 一次電流  $i_1$  : 負荷に電力を供給するため
  - 励磁電流  $i_0$  : 鉄心に磁気エネルギーを蓄えるため

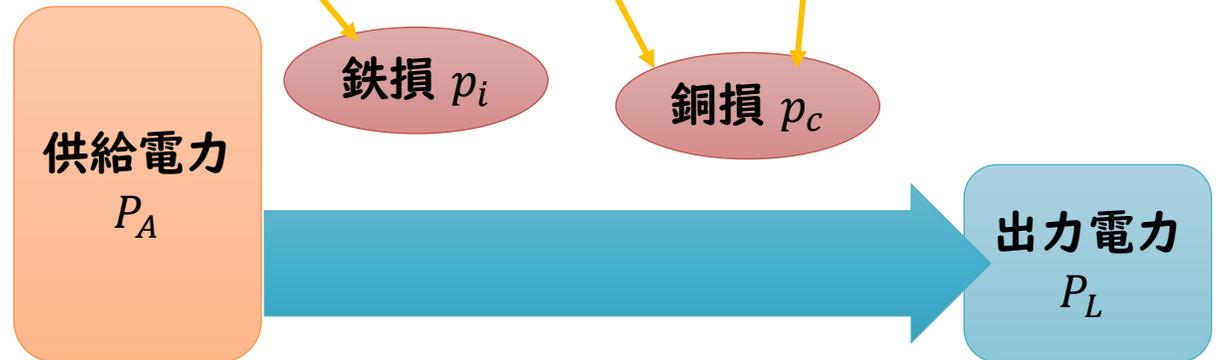
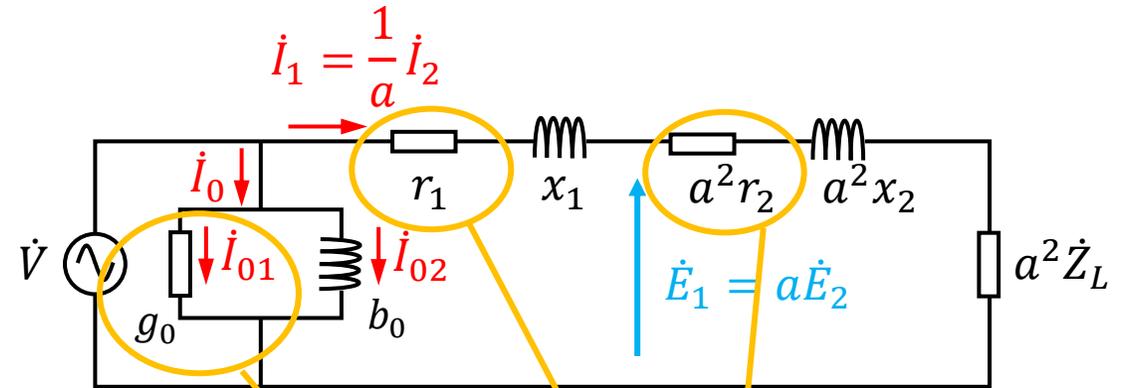
- 励磁電流は
- 鉄損電流  $i_{01}$  : 電気から磁気の変換で熱になる電流  
 $i_{01} = g_0 \dot{V}$
  - 磁化電流  $i_{02}$  : 磁束を作るための電流  
 $i_{02} = -jb_0 \dot{V}$



# 変圧器の電力と効率



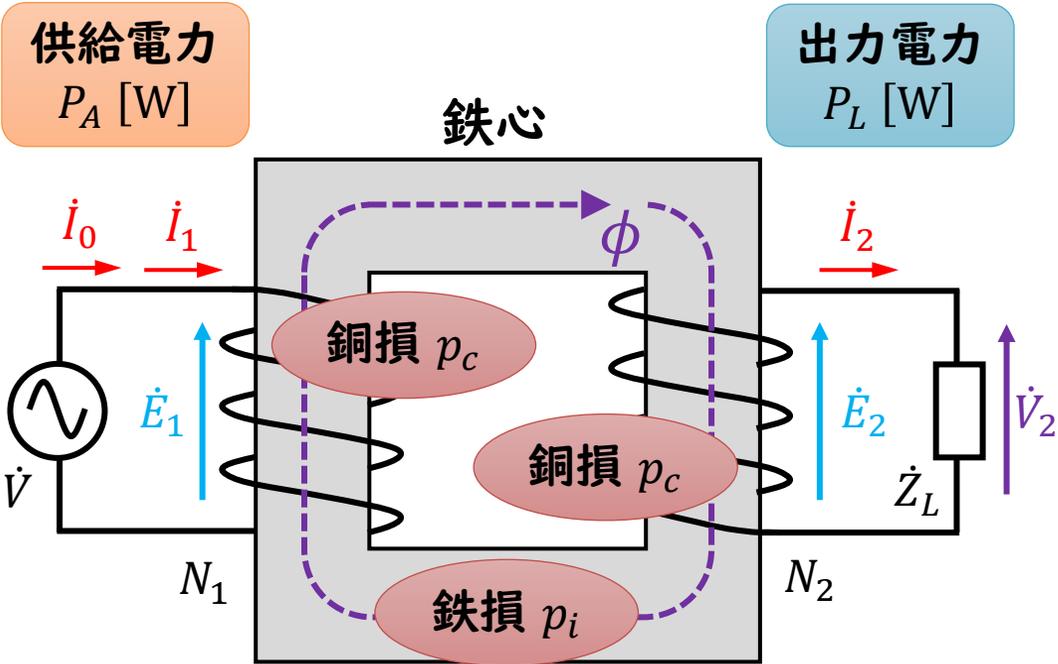
<変圧器の簡易等価回路>



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 $\alpha$ 倍のとき ( $\alpha$ : 負荷率)

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

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

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

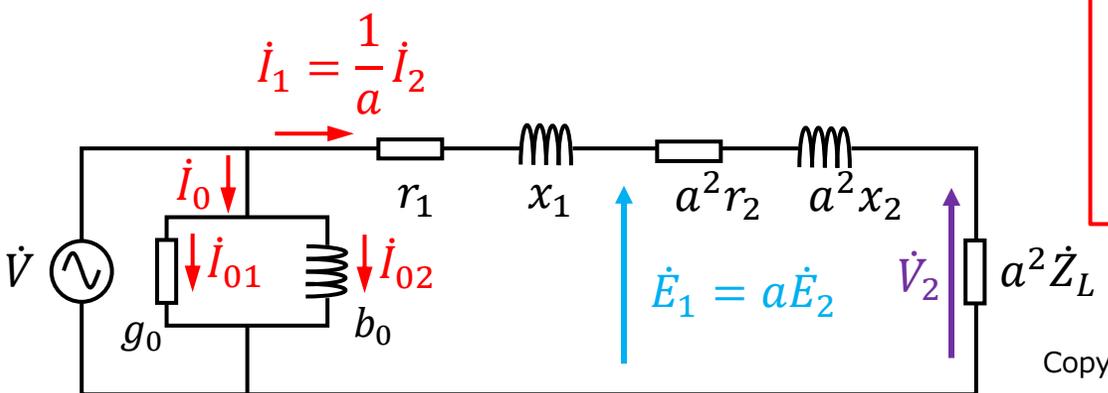
$$= (r_1 + a^2 r_2) (\alpha I_n)^2$$

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

## 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

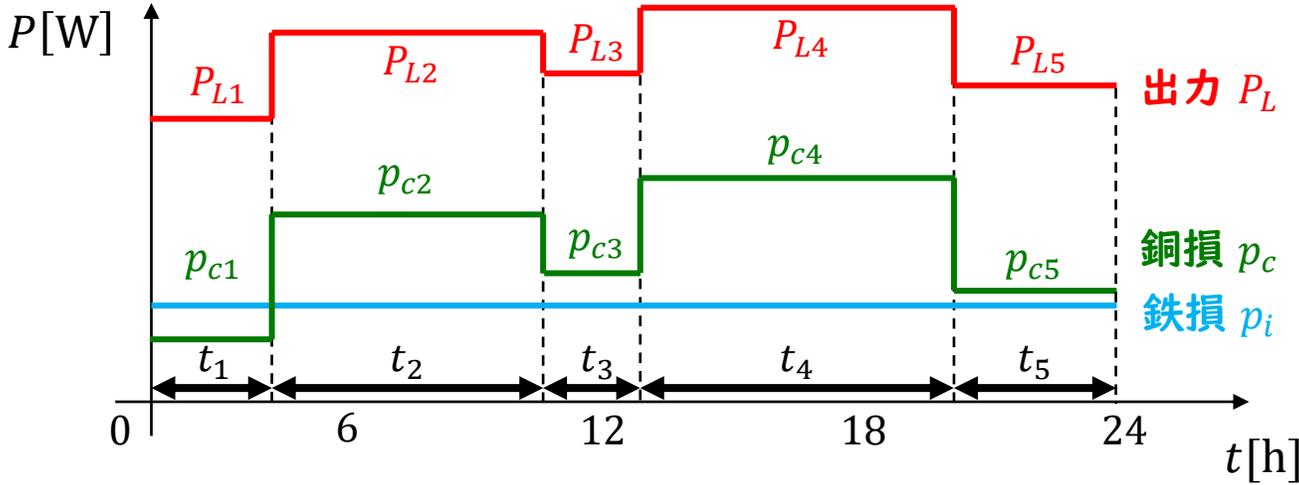
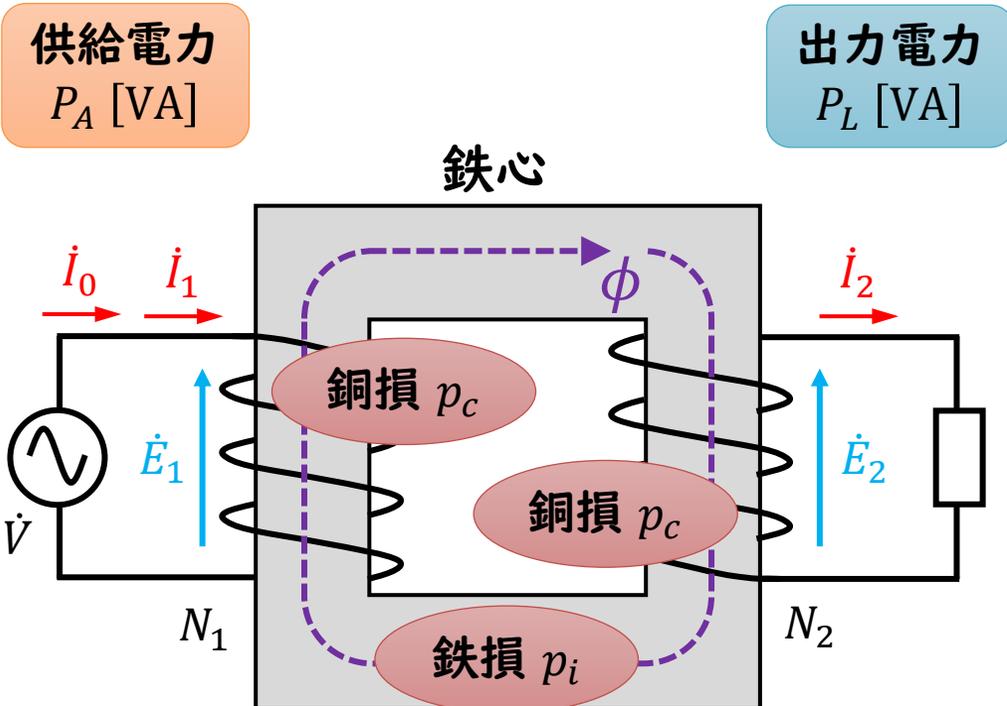
## <変圧器の簡易等価回路>



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

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

# 変圧器の電力と負荷率



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)

<全日効率>

$$\eta_d [\%] = \frac{\text{1日中の出力電力量}}{\text{1日中の入力電力量}} \times 100$$

$$= \frac{P_{L1}t_1 + P_{L2}t_2 + \dots}{P_{L1}t_1 + P_{L2}t_2 + \dots + p_{c1}t_1 + p_{c2}t_2 + \dots + p_i \times 24} \times 100$$

<日負荷率>

$$\eta_{ave} [\%] = \frac{\text{1日の平均出力電力}}{\text{1日の最大出力(需要)電力}} \times 100$$

$$= \frac{(P_{L1}t_1 + P_{L2}t_2 + \dots) / 24}{P_{Lmax}} \times 100$$

# H29 問8

---

問8 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  $1000 \text{ W}$ 、鉄損が  $250 \text{ W}$  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

# H29 問8

問8 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

## <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 $\alpha$ 倍のとき ( $\alpha$ : 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

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

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

# 導出のポイント

問8 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。

定格出力： $P_n = 50 \text{ kVA}$

負荷の力率： $\cos\theta = 1$

鉄損（無負荷損）： $p_i = 250 \text{ W}$

定格時の銅損： $p_{cn} = 1000 \text{ W}$

最大効率時は  $p_i = p_c$  が成り立つ

$$p_i = p_c = \alpha'^2 p_{cn} \rightarrow \alpha' = \sqrt{\frac{p_i}{p_{cn}}} = \sqrt{\frac{250}{1000}} = \sqrt{\frac{1}{4}} = 0.5$$

$$\eta' [\%] = \frac{\alpha' P_n \cos\theta}{\alpha' P_n \cos\theta + 2p_i} \times 100 = \frac{0.5 \times 50000 \times 1}{0.5 \times 50000 \times 1 + 2 \times 250} \times 100 = 98.0 \%$$

# H29 問8

問8 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  $1000 \text{ W}$ 、鉄損が  $250 \text{ W}$  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

# H23 問7

問7 次の文章は、変圧器の損失と効率に関する記述である。

電圧一定で出力を変化させても、出力一定で電圧を変化させても、変圧器の効率の最大は鉄損と銅損とが等しいときに生じる。ただし、変圧器の損失は鉄損と銅損だけとし、負荷の力率は一定とする。

- a. 出力 1 000 [W] で運転している単相変圧器において鉄損が 40.0 [W] , 銅損が 40.0 [W] 発生している場合、変圧器の効率は  [%] である。
- b. 出力電圧一定で出力を 500 [W] に下げた場合の鉄損は 40.0 [W] , 銅損は  [W] , 効率は  [%] となる。
- c. 出力電圧が 20 [%] 低下した状態で、出力 1 000 [W] の運転をしたとすると鉄損は 25.6 [W] , 銅損は  [W] , 効率は  [%] となる。ただし、鉄損は電圧の 2 乗に比例するものとする。

上記の記述中の空白箇所(ア) , (イ) , (ウ) , (エ)及び(オ)に当てはまる最も近い数値の組合せを、次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)	(オ)
(1)	94	20.0	89	61.5	91
(2)	93	10.0	91	62.5	92
(3)	94	20.0	89	63.5	91
(4)	93	10.0	91	50.0	93
(5)	92	20.0	89	61.5	91

# 導出のポイント

- a. 出力 1000 [W] で運転している単相変圧器において鉄損が 40.0 [W] , 銅損が 40.0 [W] 発生している場合, 変圧器の効率は  [%] である。

$$\eta [\%] = \frac{P_n \cos\theta}{P_n \cos\theta + p_i + p_{cn}} \times 100 = \frac{1000}{1000 + 40 + 40} \times 100 = 92.6 \sim 93 \%$$

- b. 出力電圧一定で出力を 500 [W] に下げた場合の鉄損は 40.0 [W] , 銅損は  [W], 効率は  [%] となる。

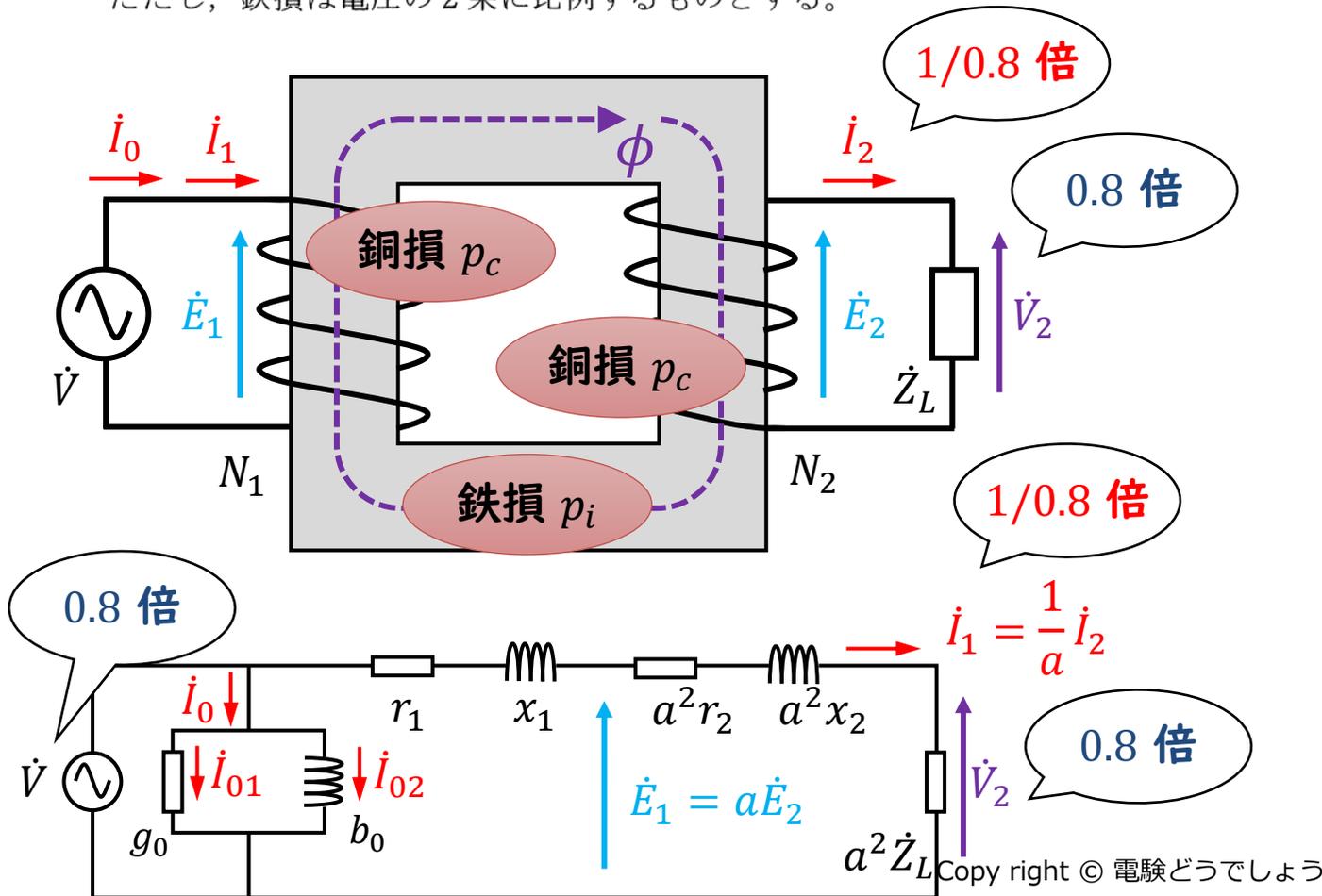
**負荷率 $\alpha$ を求める**

$$\alpha P_n = 500 \text{ W} \rightarrow \alpha = \frac{500}{1000} = 0.5$$

$$\eta [\%] = \frac{\alpha P_n \cos\theta}{\alpha P_n \cos\theta + p_i + \alpha^2 p_{cn}} \times 100 = \frac{500}{500 + 40 + 0.5^2 \times 40} \times 100 = 90.9 \sim 91 \%$$

# 導出のポイント

c. 出力電圧が 20 [%] 低下した状態で、出力 1000 [W] の運転をしたとすると鉄損は 25.6 [W]、銅損は  [W]、効率は  [%] となる。ただし、鉄損は電圧の 2 乗に比例するものとする。



出力電圧  $V_2$  が 20 % 低下  $\rightarrow 0.8$  倍

$$P_L = V_2 I_2 \text{ より出力電流 } I_2 \text{ は } \frac{1}{0.8} = 1.25 \text{ 倍}$$

銅損は電流の 2 乗に比例

$$p'_c = 1.25^2 p_c = 1.25^2 \times 40 = 62.5 \text{ W}$$

鉄損は電圧の 2 乗に比例 (問題文より)

$$p'_i = 0.8^2 p_i = 0.8^2 \times 40 = 25.6 \text{ W}$$

$$\begin{aligned} \eta [\%] &= \frac{P_n \cos \theta}{P_n \cos \theta + p'_i + p'_{cn}} \times 100 \\ &= \frac{1000}{1000 + 25.6 + 62.5} \times 100 \\ &= 91.9 \sim 92 \% \end{aligned}$$

# H23 問7

問7 次の文章は、変圧器の損失と効率に関する記述である。

電圧一定で出力を変化させても、出力一定で電圧を変化させても、変圧器の効率の最大は鉄損と銅損とが等しいときに生じる。ただし、変圧器の損失は鉄損と銅損だけとし、負荷の力率は一定とする。

- a. 出力 1 000 [W] で運転している単相変圧器において鉄損が 40.0 [W] , 銅損が 40.0 [W] 発生している場合、変圧器の効率は  [%] である。
- b. 出力電圧一定で出力を 500 [W] に下げた場合の鉄損は 40.0 [W] , 銅損は  [W] , 効率は  [%] となる。
- c. 出力電圧が 20 [%] 低下した状態で、出力 1 000 [W] の運転をしたとすると鉄損は 25.6 [W] , 銅損は  [W] , 効率は  [%] となる。ただし、鉄損は電圧の 2 乗に比例するものとする。

上記の記述中の空白箇所(ア), (イ), (ウ), (エ)及び(オ)に当てはまる最も近い数値の組合せを、次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)	(オ)
(1)	94	20.0	89	61.5	91
(2)	93	10.0	91	62.5	92
(3)	94	20.0	89	63.5	91
(4)	93	10.0	91	50.0	93
(5)	92	20.0	89	61.5	91

# 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

# 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。

**出力が定格の  $\alpha$  倍のとき ( $\alpha$  : 負荷率)**

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

(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

# 導出のポイント

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。

**銅損  $p_{cn}$  と鉄損  $p_i$  の関係**

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

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

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

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

# 導出のポイント

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。

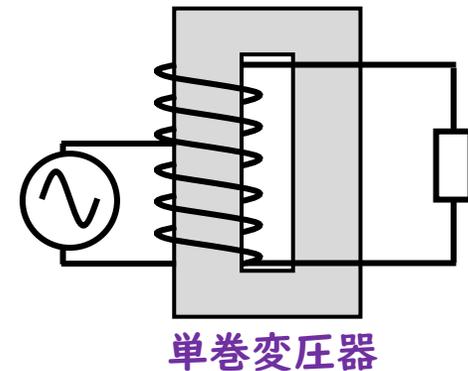
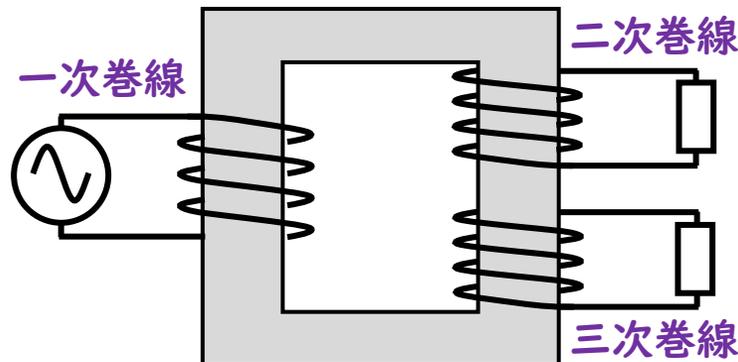
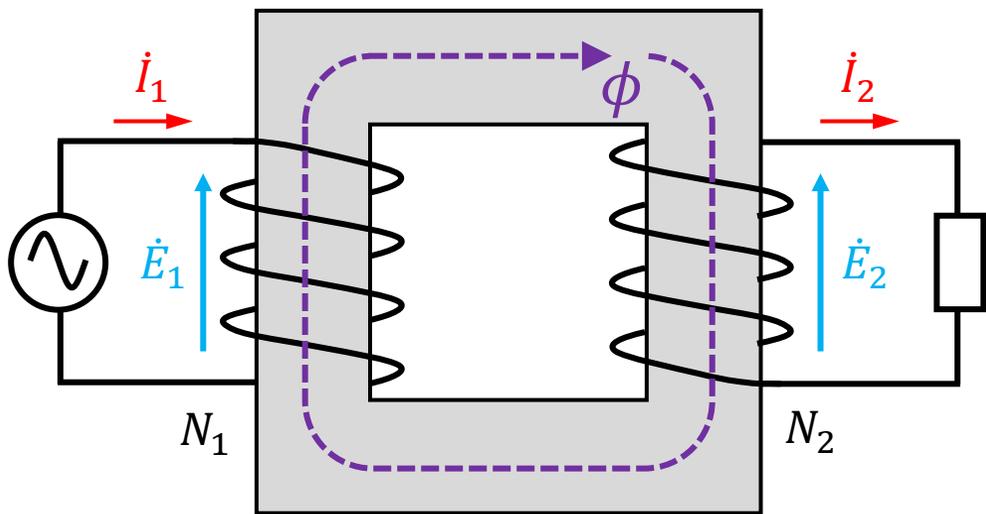
- (1) 357      (2) 206      (3) 200      (4) 119      (5) 115

(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

# 変圧器の結線

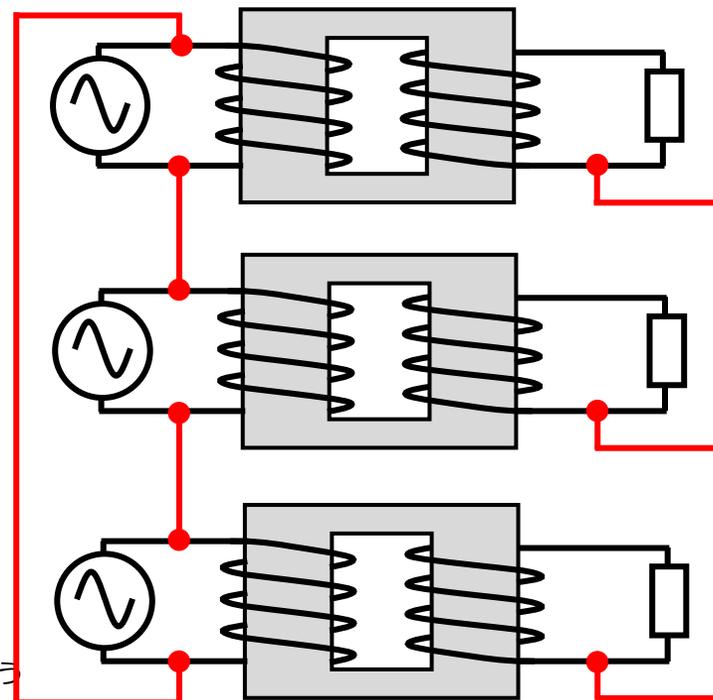
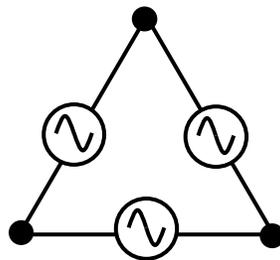
# 変圧器の巻き線



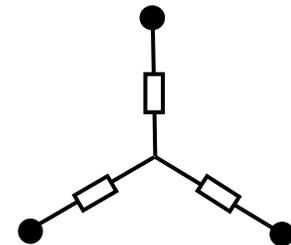
変圧器は一次側巻線（電源）、二次側巻線（負荷）という関係でなくても、

鉄心を介して磁気エネルギーを伝搬するという特性を用いて、様々な接続で使用ができる

△結線



Y結線



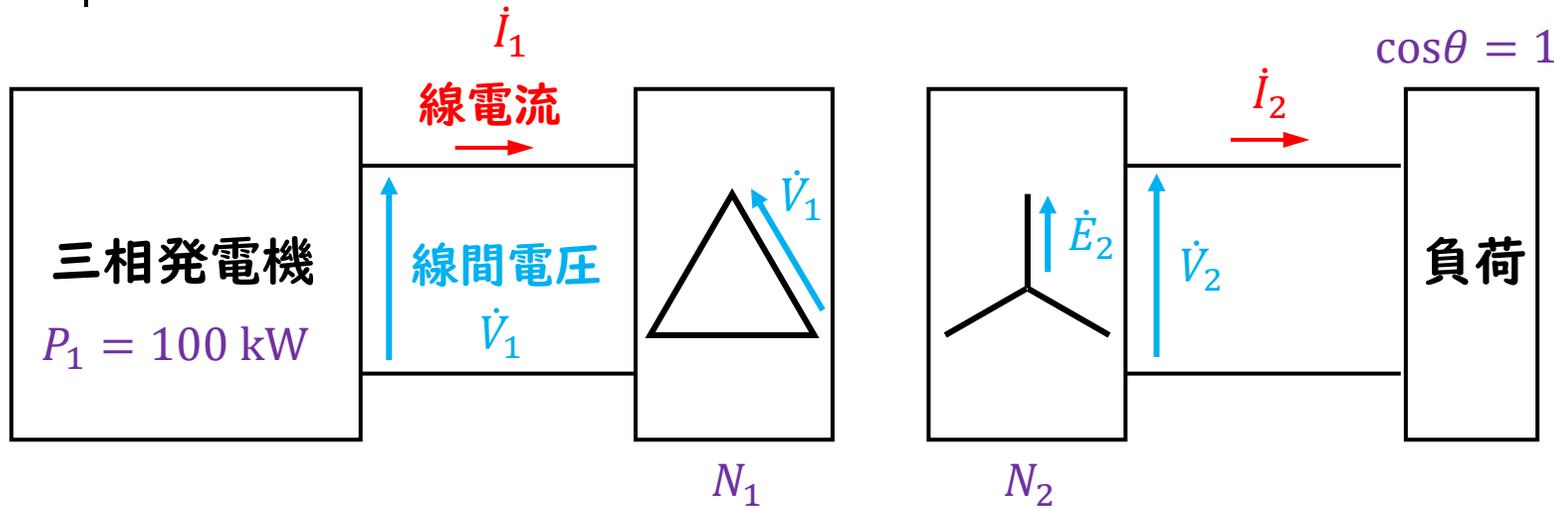
# H27 問8

問8 一次側の巻数が  $N_1$ 、二次側の巻数が  $N_2$  で製作された、同一仕様3台の単相変圧器がある。これらを用いて一次側を  $\Delta$  結線、二次側を Y 結線として抵抗負荷、一次側に三相発電機を接続した。発電機を電圧 440 V、出力 100 kW、力率 1.0 で運転したところ、二次電流は三相平衡の 17.5 A であった。この単相変圧器の巻数比  $\frac{N_1}{N_2}$  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、変圧器の励磁電流、インピーダンス及び損失は無視するものとする。

- (1) 0.13      (2) 0.23      (3) 0.40      (4) 4.3      (5) 7.5

# 導出のポイント



## 三相交流の電力

$$\sqrt{3} \times (\text{線間電圧}) \times (\text{線電流})$$

$$S = \sqrt{3} V_{ab} I_a$$

$$P = \sqrt{3} V_{ab} I_a \cos\theta = \sqrt{S^2 - Q^2}$$

$$Q = \sqrt{3} V_{ab} I_a \sin\theta = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$V_1 = 440 \text{ V}$$

$$I_2 = 17.5 \text{ A}$$

巻線と電圧の関係

$$V_1 = \frac{N_1}{N_2} E_2$$

負荷の電力

$$P_1 = P_2 = \sqrt{3} V_2 I_2 \cos\theta$$

$$V_2 = \frac{P_2}{\sqrt{3} I_2} = \frac{100,000}{\sqrt{3} \times 17.5} = 3300 \text{ V}$$

電力相電圧と線間電圧の関係

$$E_2 = \frac{V_2}{\sqrt{3}} = \frac{3300}{\sqrt{3}} = 1905 \text{ V}$$

$$V_1 = \frac{N_1}{N_2} E_2 \rightarrow \frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{E_2} = \frac{440}{1905} = 0.23$$

# H27 問8

問8 一次側の巻数が  $N_1$ 、二次側の巻数が  $N_2$  で製作された、同一仕様3台の単相変圧器がある。これらを用いて一次側を  $\Delta$  結線、二次側を Y 結線として抵抗負荷、一次側に三相発電機を接続した。発電機を電圧 440 V、出力 100 kW、力率 1.0 で運転したところ、二次電流は三相平衡の 17.5 A であった。この単相変圧器の巻数比  $\frac{N_1}{N_2}$  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、変圧器の励磁電流、インピーダンス及び損失は無視するものとする。

- (1) 0.13    (2) 0.23    (3) 0.40    (4) 4.3    (5) 7.5

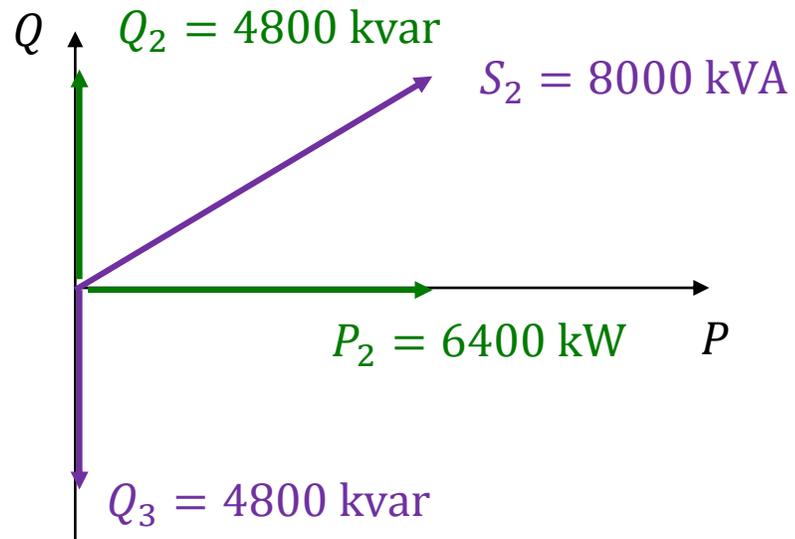
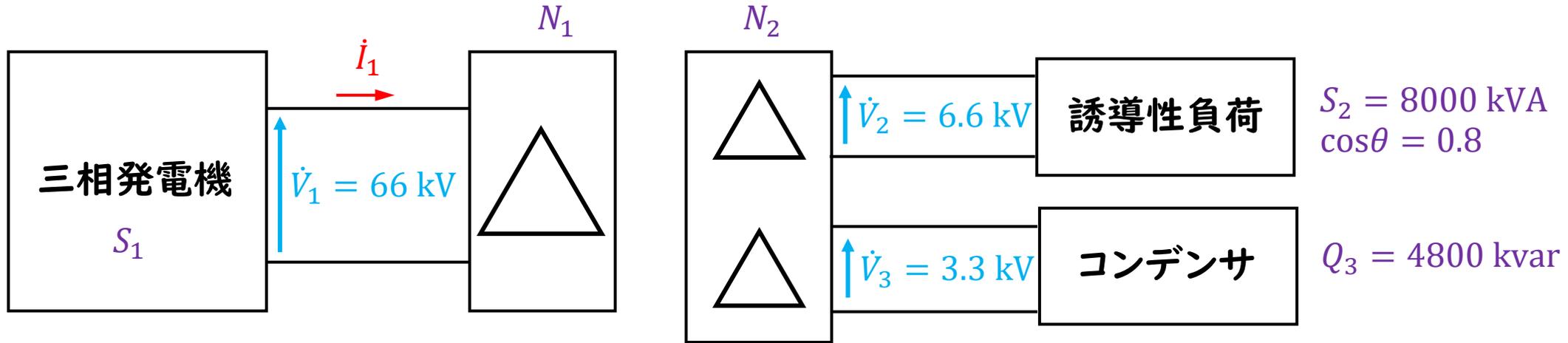
# R02 問9



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

# 三相変圧器の結線

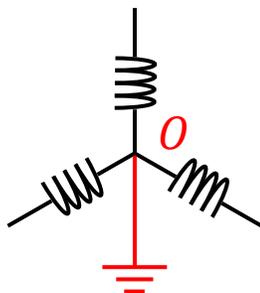
	一次巻線	二次巻線	一次巻線	二次巻線	線間電圧の 位相差と大きさ
Y-Y結線					$\dot{V}_{11}, \dot{V}_{12}, \dot{V}_{13}$ に比べて $\dot{V}_{21}, \dot{V}_{22}, \dot{V}_{23}$ は同相 で1/a倍
Y-Δ結線					$\dot{V}_{11}, \dot{V}_{12}, \dot{V}_{13}$ に比べて $\dot{V}_{21}, \dot{V}_{22}, \dot{V}_{23}$ は 30° 遅れ で1/√3a 倍
Δ-Y結線					$\dot{V}_{11}, \dot{V}_{12}, \dot{V}_{13}$ に比べて $\dot{V}_{21}, \dot{V}_{22}, \dot{V}_{23}$ は 30° 進み で√3/a 倍
Δ-Δ結線					$\dot{V}_{11}, \dot{V}_{12}, \dot{V}_{13}$ に比べて $\dot{V}_{21}, \dot{V}_{22}, \dot{V}_{23}$ は同相 で1/a倍

# 三相変圧器の結線

	一次巻線	二次巻線	一次巻線	二次巻線	線電流の 位相差と大きさ
Y-Y結線					$i_{23} = a i_{13}$ $i_{21} = a i_{11}$ $i_{22} = a i_{12}$ $i_{11}, i_{12}, i_{13}$ に比べて $i_{21}, i_{22}, i_{23}$ は同相 で $a$ 倍
Y-Δ結線					$i_{23} = a i_{13}$ $i_{21} = a i_{11}$ $i_{22} = a i_{12}$ $i_{11}, i_{12}, i_{13}$ に比べて $i_{21}, i_{22}, i_{23}$ は $30^\circ$ 遅れ で $\sqrt{3}a$ 倍
Δ-Y結線					$i_{23} = a i_{13}$ $i_{21} = a i_{11}$ $i_{22} = a i_{12}$ $i_{11}, i_{12}, i_{13}$ に比べて $i_{21}, i_{22}, i_{23}$ は $30^\circ$ 進み で $a/\sqrt{3}$ 倍
Δ-Δ結線					$i_{23} = a i_{13}$ $i_{21} = a i_{11}$ $i_{22} = a i_{12}$ $i_{11}, i_{12}, i_{13}$ に比べて $i_{21}, i_{22}, i_{23}$ は同相 で $a$ 倍

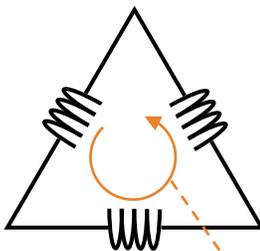
# Y結線とΔ結線の特徴

## Y結線



- 中性点Oを接地することで故障検出が容易になる。
- 巻線に発生する電圧（相電圧）が線間電圧の  $1/\sqrt{3}$  なので巻線の絶縁が容易になる。

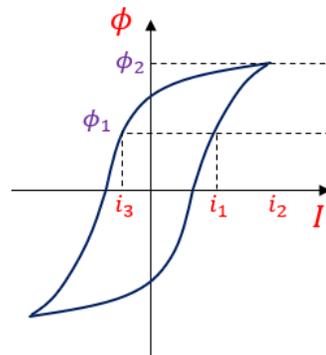
## Δ結線



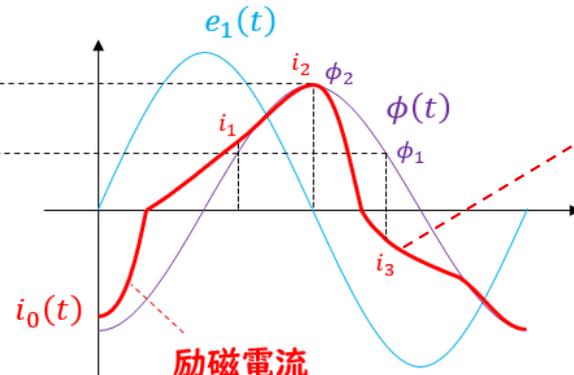
励磁電流（第3調波）

- 1相故障してもV結線で利用できる
- 励磁電流の第3調波成分を循環することができ、外部に漏れださない（外部に第3調波成分が漏れだすと、通信線に誘導障害が発生する）

<磁束と電流の関係>



<変圧器の電圧と磁束の関係>



正弦波からずれた歪な形の部分が第3調波成分

# 変圧器の結線まとめ

	一次巻線	二次巻線	特徴
Y-Y結線			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Y-Y-Δの形で用いられる (励磁電流の第3調波の漏れを抑制するため)</li> <li>• 中性点Oを接地できる</li> <li>• 巻線に発生する電圧 (相電圧) が線間電圧の<math>1/\sqrt{3}</math>なので巻線の絶縁が容易</li> <li>• 一次側、二次側の線間電圧が同相</li> </ul>
Y-Δ結線			<ul style="list-style-type: none"> <li>• 高電圧受電変圧器に用いられる</li> <li>• 中性点Oを接地できる</li> <li>• 励磁電流の第3調波をΔ回路で循環できる</li> <li>• 一次側に比べて二次側の線間電圧が<math>30^\circ</math>遅れる</li> </ul>
Δ-Y結線			<ul style="list-style-type: none"> <li>• 発電所変圧器に用いられる</li> <li>• 中性点Oを接地できる</li> <li>• 励磁電流の第3調波をΔ回路で循環できる</li> <li>• 一次側に比べて二次側の線間電圧が<math>30^\circ</math>進む</li> </ul>
Δ-Δ結線			<ul style="list-style-type: none"> <li>• 配電用変圧器に用いられる</li> <li>• 1相故障時V-V結線で運転できる</li> <li>• 励磁電流の第3調波をΔ回路で循環できる</li> <li>• 一次側、二次側の線間電圧が同相</li> </ul>

# H23 問8

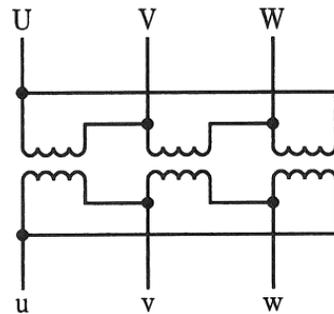
問8 下図は、三相変圧器の結線図である。

一次電圧に対して二次電圧の位相が  $30 [^\circ]$  遅れとなる結線を次の(1)～(5)

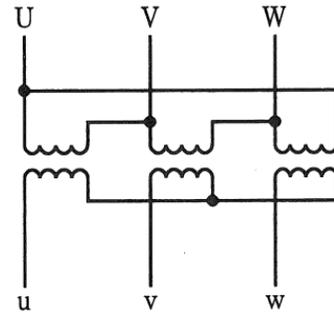
のうちから一つ選べ。

ただし、各一次・二次巻線間の極性は減極性であり、一次電圧の相順は U, V, W  
とする。

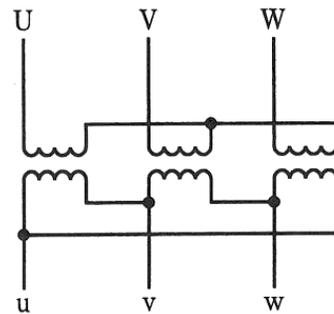
(1)



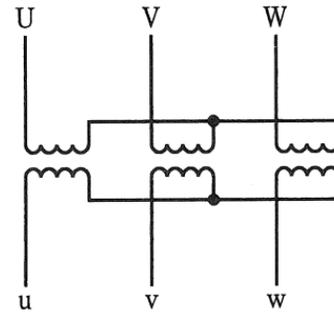
(2)



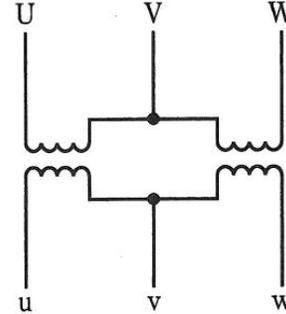
(3)



(4)



(5)



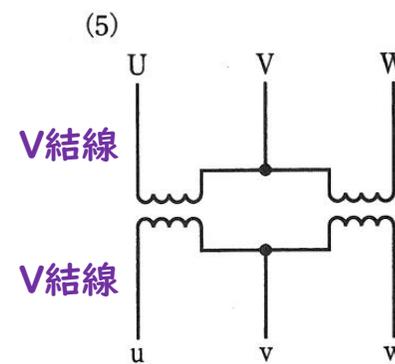
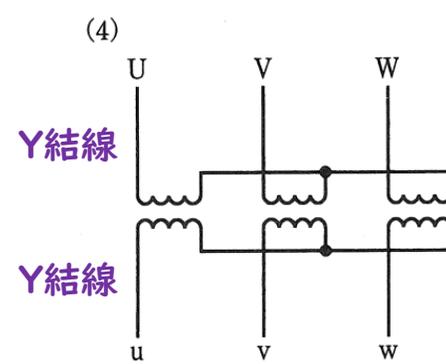
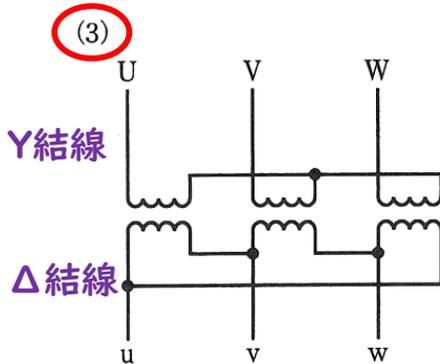
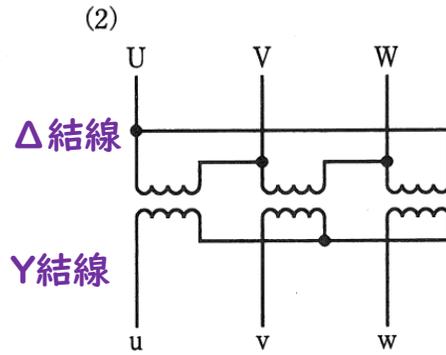
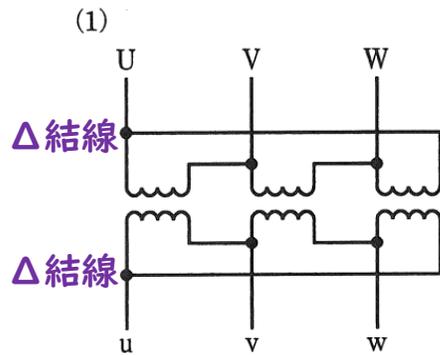
# H23 問8

問8 下図は、三相変圧器の結線図である。

一次電圧に対して二次電圧の位相が  $30 [^\circ]$  遅れとなる結線を次の(1)～(5)

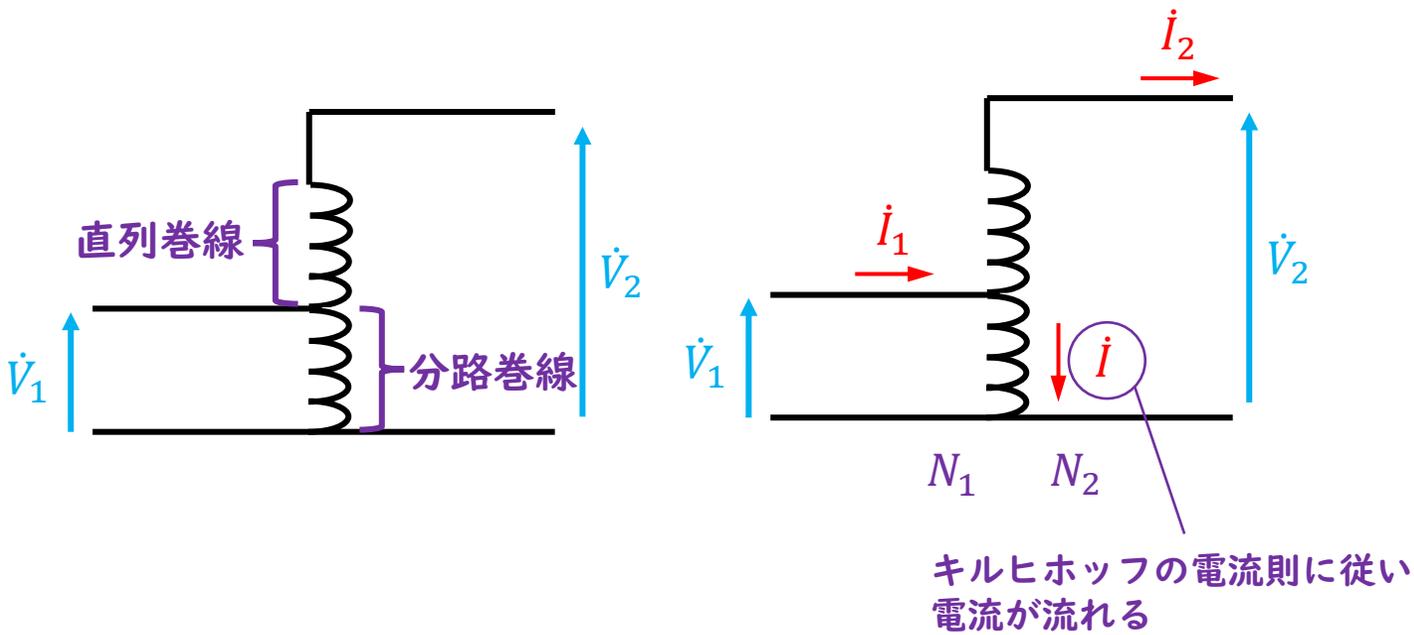
のうちから一つ選べ。

ただし、各一次・二次巻線間の極性は減極性であり、一次電圧の相順は U, V, W とする。



Y-Δ結線：二次側 $30^\circ$  遅れ  
Δ-Y結線：二次側 $30^\circ$  進み

# 単巻変圧器



$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \rightarrow V_1 = aV_2$$

$$V_1 I_1 = V_2 I_2 \rightarrow I_1 = \frac{V_2}{V_1} I_2 \rightarrow I_1 = \frac{1}{a} I_2$$

$$I = I_1 - I_2$$

負荷容量 =  $V_1 I_1 = V_2 I_2$

直列巻線の容量 =  $(V_2 - V_1) I_2$

分路巻線の容量 =  $V_1 I = V_1 (I_1 - I_2)$

$$(V_2 - V_1) I_2 = V_2 I_2 - V_1 I_2 = V_1 I_1 - V_1 I_2 = V_1 (I_1 - I_2)$$

自己容量 = 直列巻線の容量 = 分路巻線の容量  
 =  $(V_2 - V_1) I_2 = V_1 (I_1 - I_2)$

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

# H25 問8

問8 次の文章は、単相単巻変圧器に関する記述である。

巻線の一部が一次と二次との回路に共通になっている変圧器を単巻変圧器という。巻線の共通部分を  ，共通でない部分を  という。

単巻変圧器では、 の端子を一次側に接続し、 の端子を二次側に接続して使用すると通常の変圧器と同じように動作する。単巻変圧器の  は、二次端子電圧と二次電流との積である。

単巻変圧器は、巻線の一部が共通であるため、漏れ磁束が  ，電圧変動率が  。

上記の記述中の空白箇所(ア)，(イ)，(ウ)，(エ)及び(オ)に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)	(オ)
(1)	分路巻線	直列巻線	負荷容量	多く	小さい
(2)	直列巻線	分路巻線	自己容量	少なく	小さい
(3)	分路巻線	直列巻線	定格容量	多く	大きい
(4)	分路巻線	直列巻線	負荷容量	少なく	小さい
(5)	直列巻線	分路巻線	定格容量	多く	大きい

# H25 問8

問8 次の文章は、単相単巻変圧器に関する記述である。

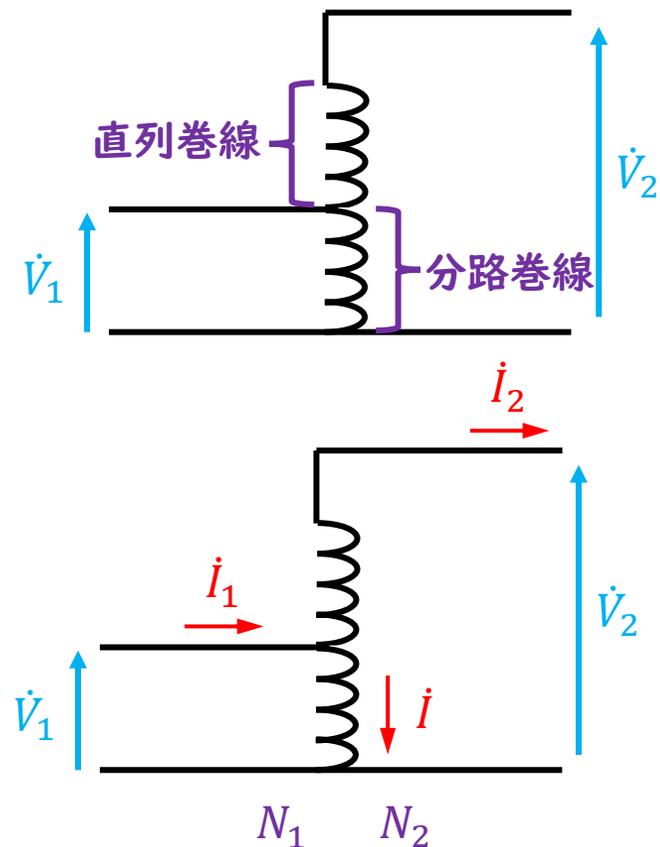
巻線の一部が一次と二次との回路に共通になっている変圧器を単巻変圧器という。巻線の共通部分を (ア) ，共通でない部分を (イ) という。

単巻変圧器では、(ア) の端子を一次側に接続し、(イ) の端子を二次側に接続して使用すると通常の変圧器と同じように動作する。単巻変圧器の (ウ) は、二次端子電圧と二次電流との積である。

単巻変圧器は、巻線の一部が共通であるため、漏れ磁束が (エ) ，電圧変動率が (オ) 。

上記の記述中の空白箇所(ア) ，(イ) ，(ウ) ，(エ) 及び(オ) に当てはまる組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)	(オ)
(1)	分路巻線	直列巻線	負荷容量	多く	小さい
(2)	直列巻線	分路巻線	自己容量	少なく	小さい
(3)	分路巻線	直列巻線	定格容量	多く	大きい
(4)	分路巻線	直列巻線	負荷容量	少なく	小さい
(5)	直列巻線	分路巻線	定格容量	多く	大きい



$$\text{自己容量} = \text{直列巻線の容量} = \text{分路巻線の容量} \\ = (V_2 - V_1)I_2 = V_1(I_1 - I_2)$$

$$\text{負荷容量} = V_1 I_1 = V_2 I_2$$

# H30 問9

---

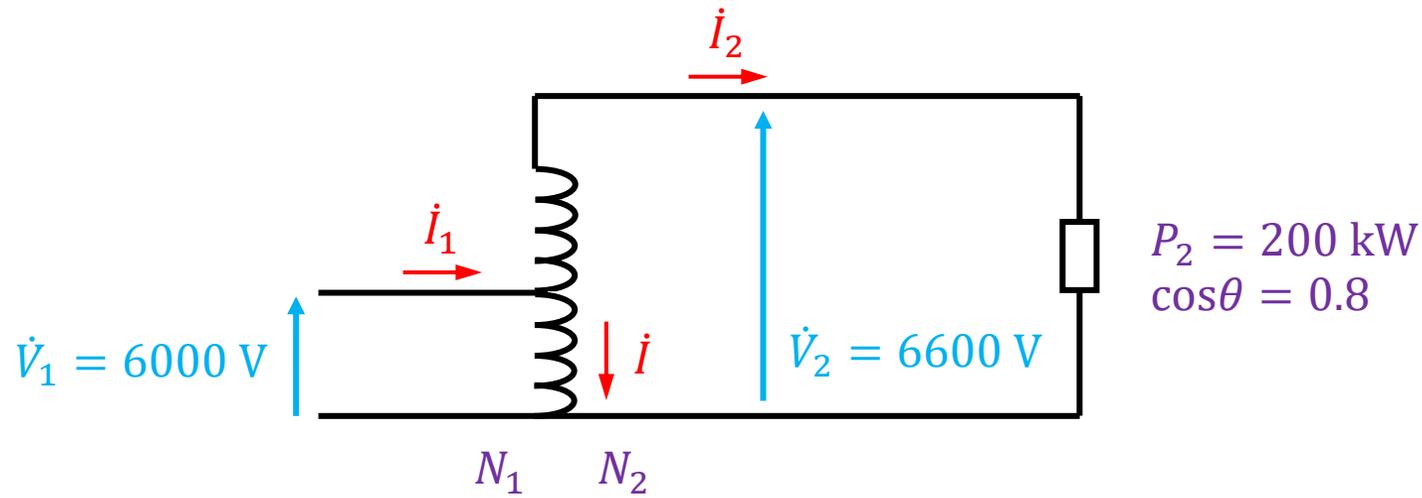
問9 定格一次電圧 6 000 V，定格二次電圧 6 600 V の単相単巻変圧器がある。消費電力 200 kW，力率 0.8(遅れ)の単相負荷に定格電圧で電力を供給する。単巻変圧器として必要な自己容量の値[kV・A]として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。ただし，巻線のインピーダンス，鉄心の励磁電流及び鉄心の磁気飽和は無視できる。

- (1) 22.7      (2) 25.0      (3) 160      (4) 200      (5) 250

# H30 問9

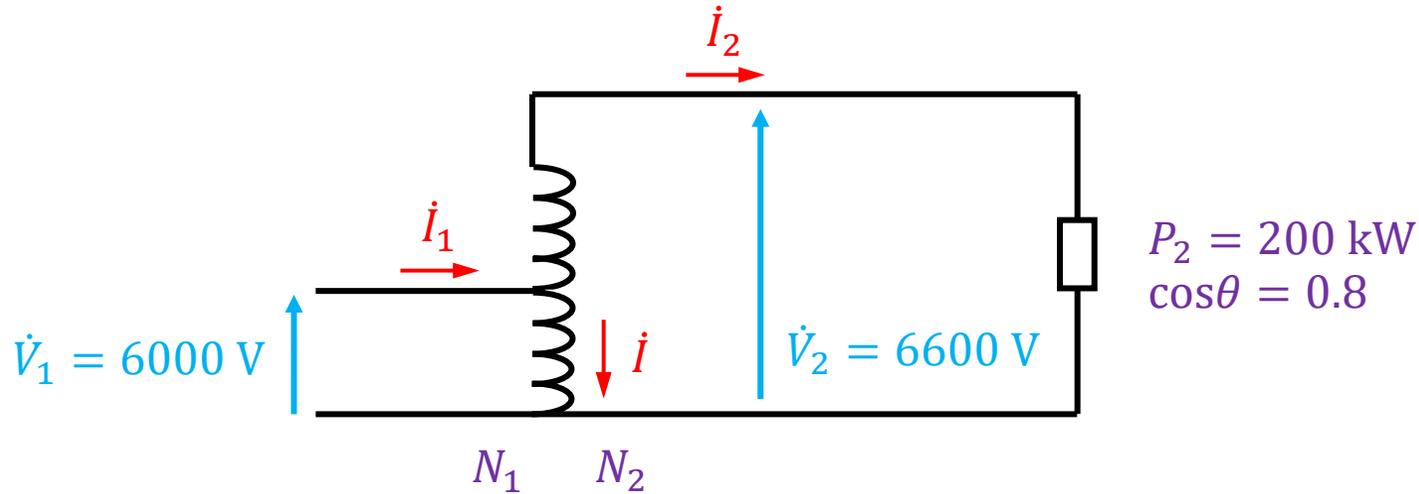
問9 定格一次電圧 6 000 V， 定格二次電圧 6 600 V の単相単巻変圧器がある。消費電力 200 kW， 力率 0.8(遅れ)の単相負荷に定格電圧で電力を供給する。単巻変圧器として必要な自己容量の値[kV・A]として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。ただし，巻線のインピーダンス，鉄心の励磁電流及び鉄心の磁気飽和は無視できる。

- (1) 22.7      (2) 25.0      (3) 160      (4) 200      (5) 250



# 導出のポイント

問9 定格一次電圧 6000 V， 定格二次電圧 6600 V の単相単巻変圧器がある。消費電力 200 kW， 力率 0.8(遅れ)の単相負荷に定格電圧で電力を供給する。単巻変圧器として必要な自己容量の値[kV・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，巻線のインピーダンス，鉄心の励磁電流及び鉄心の磁気飽和は無視できる。



$$S_2 = \frac{P_2}{\cos\theta} = \frac{200}{0.8} = 250 \text{ kVA}$$

$$S_2 = V_2 I_2$$

$$\rightarrow I_2 = \frac{S_2}{V_2} = \frac{250,000}{6600} = 37.9 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} \text{自己容量} &= (V_2 - V_1) I_2 \\ &= (6600 - 6000) \times 37.9 \\ &= 22700 \text{ W} = 22.7 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{自己容量} &= \text{直列巻線の容量} = \text{分路巻線の容量} \\ &= (V_2 - V_1) I_2 = V_1 (I_1 - I_2) \end{aligned}$$

$$\text{負荷容量} = V_1 I_1 = V_2 I_2$$

# H30 問9

問9 定格一次電圧 6 000 V，定格二次電圧 6 600 V の単相単巻変圧器がある。消費電力 200 kW，力率 0.8(遅れ)の単相負荷に定格電圧で電力を供給する。単巻変圧器として必要な自己容量の値[kV・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，巻線のインピーダンス，鉄心の励磁電流及び鉄心の磁気飽和は無視できる。

- (1) 22.7      (2) 25.0      (3) 160      (4) 200      (5) 250

# R01 問8



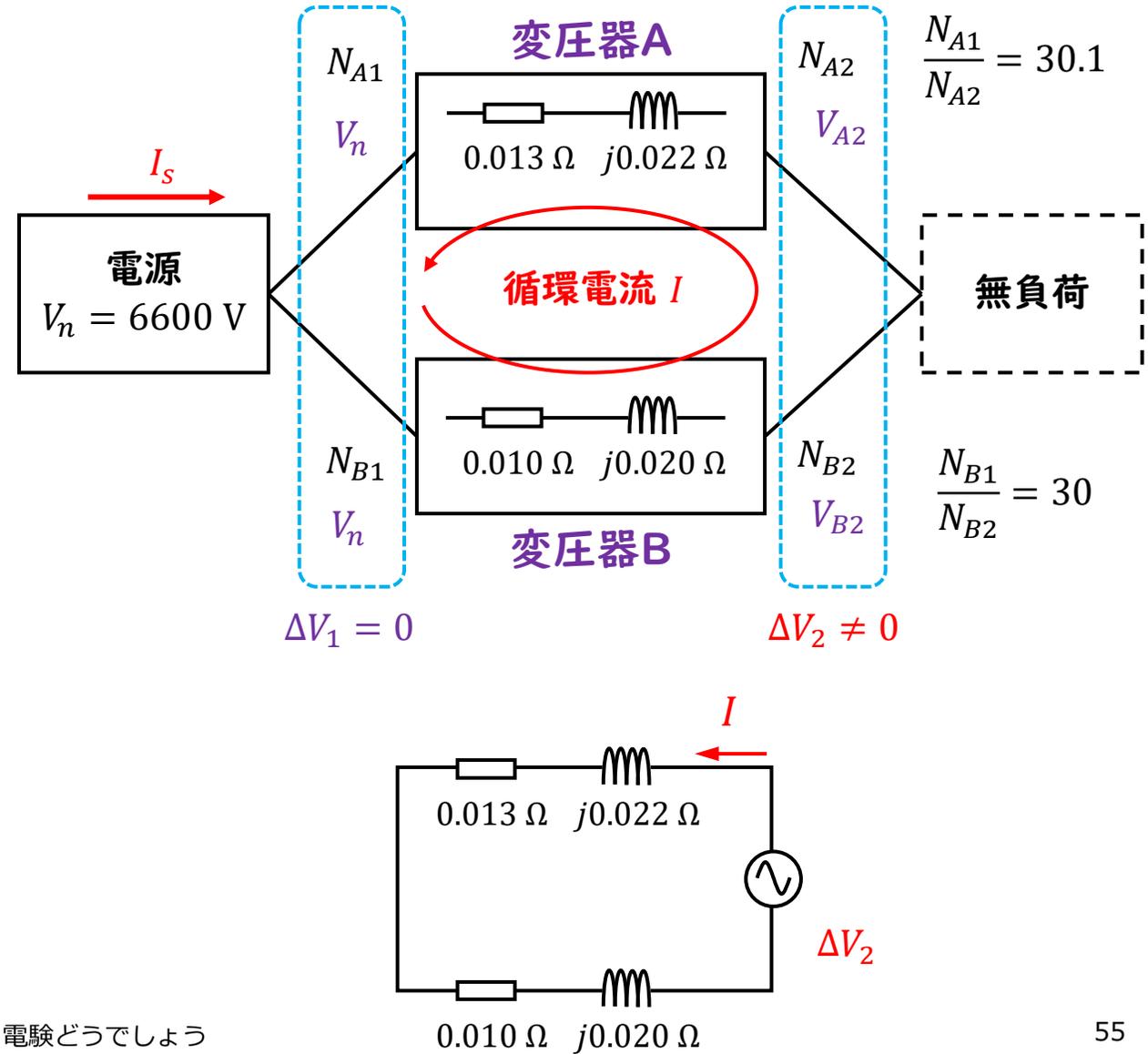
問8 2台の単相変圧器があり、それぞれ、巻数比(一次巻数/二次巻数)が30.1, 30.0、二次側に換算した巻線抵抗及び漏れリアクタンスからなるインピーダンスが $(0.013 + j0.022) \Omega$ ,  $(0.010 + j0.020) \Omega$ である。この2台の変圧器を並列接続し二次側を無負荷として、一次側に6600Vを加えた。この2台の変圧器の二次巻線間を循環して流れる電流の値[A]として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。ただし、励磁回路のアドミタンスの影響は無視するものとする。

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

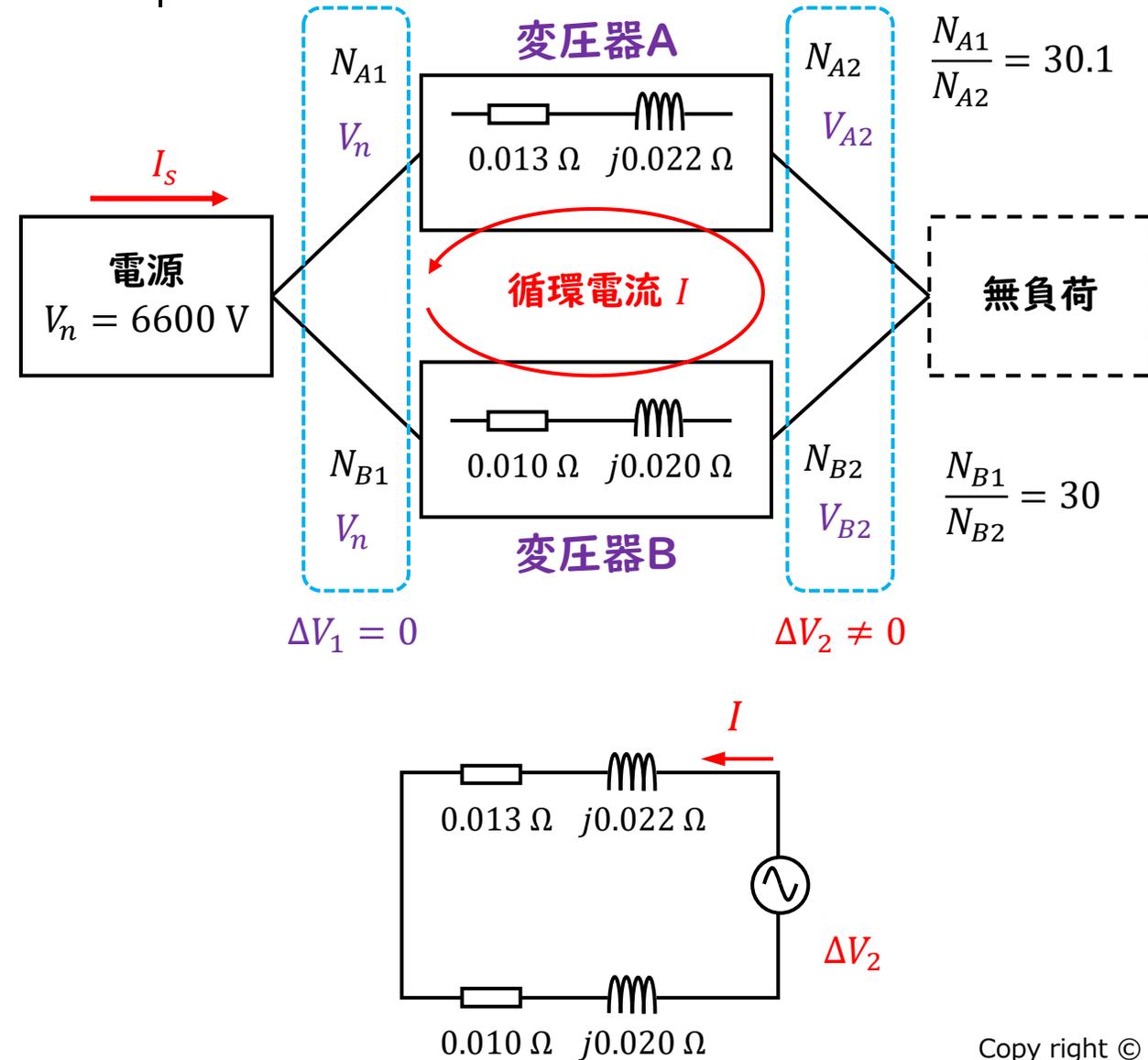
# 導出のポイント

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



$$\frac{N_{A1}}{N_{A2}} = 30.1$$

$\Delta V_2$ 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

# H24 問8

問8 三相変圧器の並行運転に関する記述として、誤っているものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 各変圧器の極性が一致していないと、大きな循環電流が流れて巻線の焼損を引き起こす。
- (2) 各変圧器の変圧比が一致していないと、負荷の有無にかかわらず循環電流が流れて巻線の過熱を引き起こす。
- (3) 一次側と二次側との誘導起電力の位相変位(角変位)が各変圧器で等しくないと、その程度によっては、大きな循環電流が流れて巻線の焼損を引き起こす。したがって、 $\Delta$ -Y と Y-Y との並行運転はできるが、 $\Delta$ - $\Delta$  と  $\Delta$ -Y との並行運転はできない。
- (4) 各変圧器の巻線抵抗と漏れリアクタンスとの比が等しくないと、各変圧器の二次側に流れる電流に位相差が生じ取り出せる電力は各変圧器の出力の和より小さくなり、出力に対する銅損の割合が大きくなって利用率が悪くなる。
- (5) 各変圧器の百分率インピーダンス降下が等しくないと、各変圧器が定格容量に応じた負荷を分担することができない。

# H24 問8

問8 三相変圧器の並行運転に関する記述として、誤っているものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 各変圧器の極性が一致していないと、大きな循環電流が流れて巻線の焼損を引き起こす。
- (2) 各変圧器の変圧比が一致していないと、負荷の有無にかかわらず循環電流が流れて巻線の過熱を引き起こす。
- (3) 一次側と二次側との誘導起電力の位相変位(角変位)が各変圧器で等しくないと、その程度によっては、大きな循環電流が流れて巻線の焼損を引き起こす。したがって、 $\Delta$ -Y と Y-Y との並行運転はできるが、 $\Delta$ - $\Delta$  と  $\Delta$ -Y との並行運転はできない。
- (4) 各変圧器の巻線抵抗と漏れリアクタンスとの比が等しくないと、各変圧器の二次側に流れる電流に位相差が生じ取り出せる電力は各変圧器の出力の和より小さくなり、出力に対する銅損の割合が大きくなって利用率が悪くなる。
- (5) 各変圧器の百分率インピーダンス降下が等しくないと、各変圧器が定格容量に応じた負荷を分担することができない。

## <変圧器の並列運転のポイント>

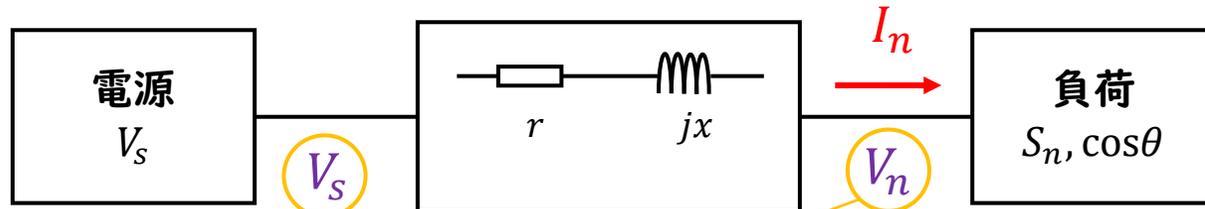
- ・極性が一致していること
- ・巻数比が等しく、一次及び二次の定格電圧が等しいこと
- ・内部の抵抗とリアクタンスの比が等しいこと
- ・三相の場合、相回転の方向および各変位が等しいこと

Y- $\Delta$ 結線は1次側に比べて2次側が $30^\circ$ 遅れる  
 $\Delta$ -Y結線は1次側に比べて2次側が $30^\circ$ 進む

# 変圧器の 内部インピーダンス

# 変圧器の電圧降下

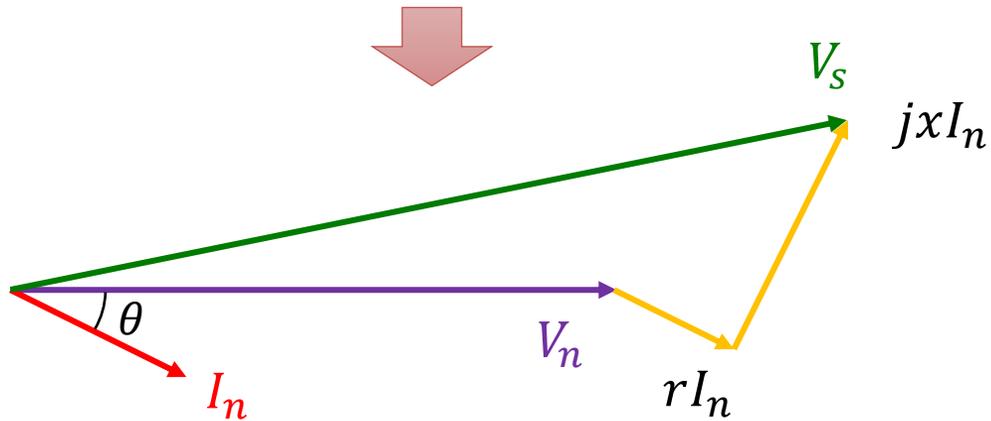
変圧器



負荷の電流と電圧の関係

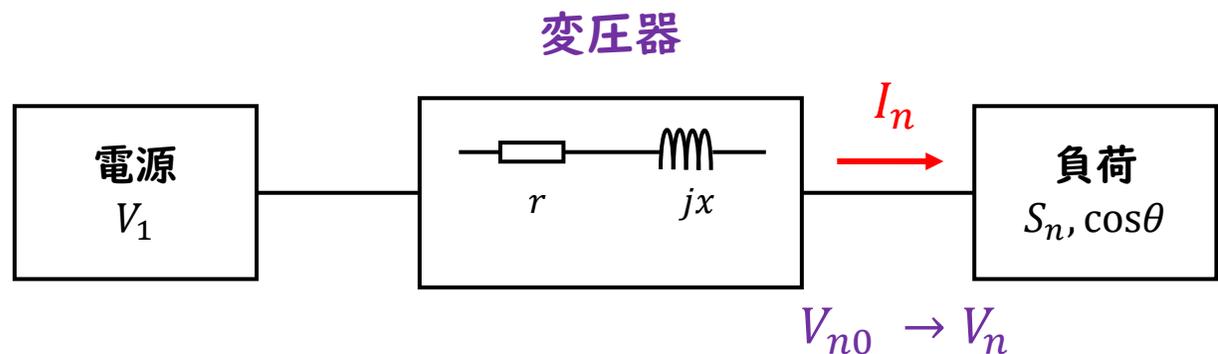


変圧器の内部インピーダンスにより  
入力と出力の電圧に差が生じる



ベクトル図から近似的に  
 $V_s$ と $V_n$ の電位差を導出する

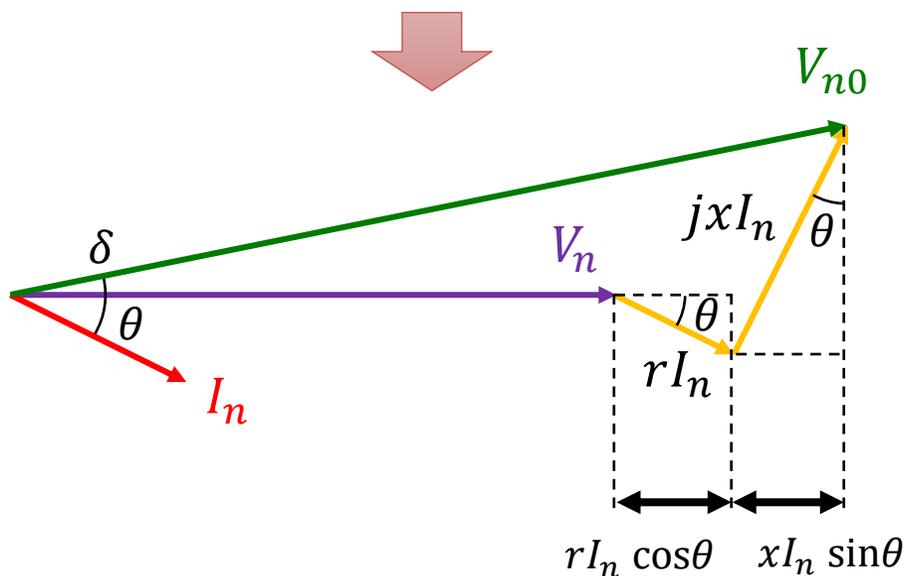
# 変圧器の電圧降下



$V_{n0}$  と  $V_n$  の間の角 (負荷角  $\delta$ ) 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



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

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

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

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

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

$\varepsilon$  : 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

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

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

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

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

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

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

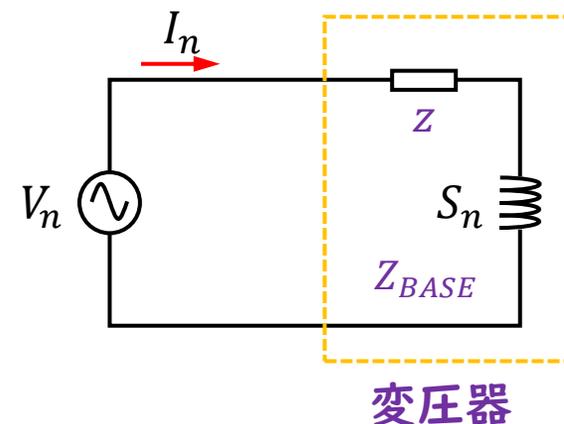
- $\varepsilon$  : 電圧変動率 [%]
- $p$  : %抵抗降下 [%]
- $q$  : %リアクタンス降下 [%]

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  $500\text{ kV}\cdot\text{A}$  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  $6\text{ kW}$  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

# 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

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

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

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

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

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

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

$\varepsilon$  : 電圧変動率 [%]

$p$  : %抵抗降下 [%]

$q$  : %リアクタンス降下 [%]

# 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

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

## 電圧変動率を求める

$$\begin{aligned}
 \varepsilon &= p \cos \theta + q \sin \theta \\
 &= 1.2 \times 1 + 0 = 1.2 \%
 \end{aligned}$$

# H24 問7

問7 単相変圧器があり，二次側を開放して電流を流さない場合の二次電圧の大きさを100〔%〕とする。二次側にリアクトルを接続して力率0の電流を流した場合，二次電圧は5〔%〕下がって95〔%〕であった。二次側に抵抗器を接続して，前述と同じ大きさの力率1の電流を流した場合，二次電圧は2〔%〕下がって98〔%〕であった。一次巻線抵抗と一次換算した二次巻線抵抗との和は10〔 $\Omega$ 〕である。鉄損及び励磁電流は小さく，無視できるものとする。ベクトル図を用いた電圧変動率の計算によく用いられる近似計算を利用して，一次漏れリアクタンスと一次換算した二次漏れリアクタンスとの和〔 $\Omega$ 〕の値を求めた。その値として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 5      (2) 10      (3) 15      (4) 20      (5) 25

# H24 問7

問7 単相変圧器があり、二次側を開放して電流を流さない場合の二次電圧の大きさを100 [%]とする。二次側にリアクトルを接続して力率0の電流を流した場合、二次電圧は5 [%]下がって95 [%]であった。二次側に抵抗器を接続して、前述と同じ大きさの力率1の電流を流した場合、二次電圧は2 [%]下がって98 [%]であった。一次巻線抵抗と一次換算した二次巻線抵抗との和は10 [Ω]である。鉄損及び励磁電流は小さく、無視できるものとする。ベクトル図を用いた電圧変動率の計算によく用いられる近似計算を利用して、一次漏れリアクタンスと一次換算した二次漏れリアクタンスとの和 [Ω] の値を求めた。その値として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 5      (2) 10      (3) 15      (4) 20      (5) 25

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

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

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

$\varepsilon$  : 電圧変動率 [%]

$p$  : %抵抗降下 [%]

$q$  : %リアクタンス降下 [%]

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

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

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

# 導出のポイント

問7 単相変圧器があり、二次側を開放して電流を流さない場合の二次電圧の大きさを100 [%]とする。二次側にリアクトルを接続して力率0の電流を流した場合、二次電圧は5 [%]下がって95 [%]であった。二次側に抵抗器を接続して、前述と同じ大きさの力率1の電流を流した場合、二次電圧は2 [%]下がって98 [%]であった。一次巻線抵抗と一次換算した二次巻線抵抗との和は10 [Ω]である。鉄損及び励磁電流は小さく、無視できるものとする。ベクトル図を用いた電圧変動率の計算によく用いられる近似計算を利用して、一次漏れリアクタンスと一次換算した二次漏れリアクタンスとの和 [Ω]の値を求めた。その値として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

## 電圧変動率の式を立てる

(1) 力率0の場合 → %リアクタンス降下が導出できる

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 &= p \cos \theta + q \sin \theta = 0 + q \times 1 \\ q &= 5 \%\end{aligned}$$

(2) 力率1の場合 → %抵抗降下が導出できる

$$\begin{aligned}\varepsilon_2 &= p \cos \theta + q \sin \theta = p \times 1 + 0 \\ p &= 2 \%\end{aligned}$$

## 基準インピーダンスを求める

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

$$Z_{BASE} = \frac{r}{p} \times 100 = \frac{10}{2} \times 100 = 500 \Omega$$

## リアクタンスを求める

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

$$x = q \times \frac{Z_{BASE}}{100} = 2 \times \frac{500}{100} = 10 \Omega$$

# H24 問7

問7 単相変圧器があり，二次側を開放して電流を流さない場合の二次電圧の大きさを100〔%〕とする。二次側にリアクトルを接続して力率0の電流を流した場合，二次電圧は5〔%〕下がって95〔%〕であった。二次側に抵抗器を接続して，前述と同じ大きさの力率1の電流を流した場合，二次電圧は2〔%〕下がって98〔%〕であった。一次巻線抵抗と一次換算した二次巻線抵抗との和は10〔 $\Omega$ 〕である。鉄損及び励磁電流は小さく，無視できるものとする。ベクトル図を用いた電圧変動率の計算によく用いられる近似計算を利用して，一次漏れリアクタンスと一次換算した二次漏れリアクタンスとの和〔 $\Omega$ 〕の値を求めた。その値として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

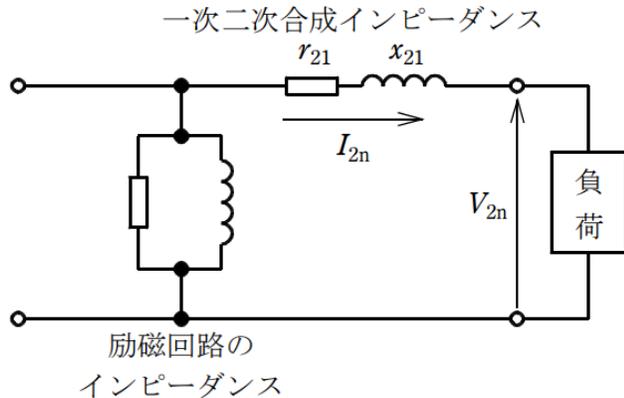
- (1) 5    (2) 10    (3) 15    (4) 20    (5) 25

# H26 問8

問8 次の文章は、単相変圧器の電圧変動に関する記述である。

単相変圧器において、一次抵抗及び一次漏れリアクタンスが励磁回路のインピーダンスに比べて十分小さいとして二次側に移した、二次側換算の簡易等価回路は図のようになる。 $r_{21} = 1.0 \times 10^{-3} \Omega$ ,  $x_{21} = 3.0 \times 10^{-3} \Omega$ , 定格二次電圧  $V_{2n} = 100 \text{ V}$ , 定格二次電流  $I_{2n} = 1 \text{ kA}$  とする。

負荷の力率が遅れ 80 % のとき、百分率抵抗降下  $p$ , 百分率リアクタンス降下  $q$  及び電圧変動率  $\varepsilon$  のそれぞれの値 [%] の組合せとして、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。なお、本問では簡単のため用いられる近似式を用いて解答すること。



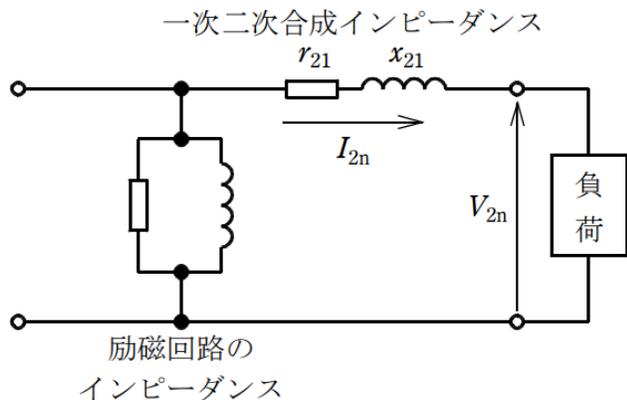
	$p$	$q$	$\varepsilon$
(1)	3.0	1.0	3.0
(2)	3.0	1.0	2.4
(3)	1.0	3.0	3.1
(4)	1.0	2.6	3.0
(5)	1.0	3.0	2.6

# 導出のポイント

問8 次の文章は、単相変圧器の電圧変動に関する記述である。

単相変圧器において、一次抵抗及び一次漏れリアクタンスが励磁回路のインピーダンスに比べて十分小さいとして二次側に移した、二次側換算の簡易等価回路は図のようになる。 $r_{21} = 1.0 \times 10^{-3} \Omega$ ,  $x_{21} = 3.0 \times 10^{-3} \Omega$ , 定格二次電圧  $V_{2n} = 100 \text{ V}$ , 定格二次電流  $I_{2n} = 1 \text{ kA}$  とする。

負荷の力率が遅れ 80 % のとき、百分率抵抗降下  $p$ , 百分率リアクタンス降下  $q$  及び電圧変動率  $\varepsilon$  のそれぞれの値 [%] の組合せとして、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。なお、本問では簡単のため用いられる近似式を用いて解答すること。



## %抵抗降下を求める

$$p = \frac{rI_n}{V_n} \times 100 = \frac{1.0 \times 10^{-3} \times 1 \times 10^3}{100} \times 100 = 1 \%$$

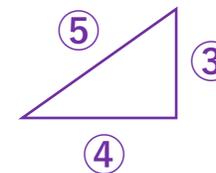
## %リアクタンス降下を求める

$$q = \frac{xI_n}{V_n} \times 100 = \frac{3.0 \times 10^{-3} \times 1 \times 10^3}{100} \times 100 = 3 \%$$

## 電圧変動率を求める

$$\begin{aligned} \varepsilon &= p \cos \theta + q \sin \theta \\ &= 1 \times 0.8 + 3 \times 0.6 = 2.6 \% \end{aligned}$$

$$\sqrt{1 - 0.8^2} = 0.6$$

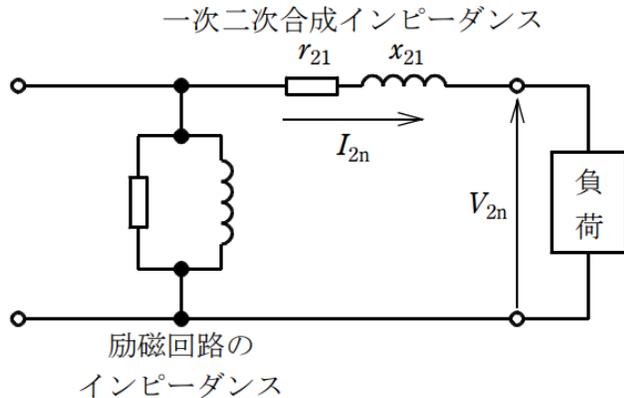


# H26 問8

問8 次の文章は、単相変圧器の電圧変動に関する記述である。

単相変圧器において、一次抵抗及び一次漏れリアクタンスが励磁回路のインピーダンスに比べて十分小さいとして二次側に移した、二次側換算の簡易等価回路は図のようになる。 $r_{21} = 1.0 \times 10^{-3} \Omega$ ,  $x_{21} = 3.0 \times 10^{-3} \Omega$ , 定格二次電圧  $V_{2n} = 100 \text{ V}$ , 定格二次電流  $I_{2n} = 1 \text{ kA}$  とする。

負荷の力率が遅れ 80 % のとき、百分率抵抗降下  $p$ , 百分率リアクタンス降下  $q$  及び電圧変動率  $\varepsilon$  のそれぞれの値 [%] の組合せとして、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。なお、本問では簡単のため用いられる近似式を用いて解答すること。



	$p$	$q$	$\varepsilon$
(1)	3.0	1.0	3.0
(2)	3.0	1.0	2.4
(3)	1.0	3.0	3.1
(4)	1.0	2.6	3.0
(5)	1.0	3.0	2.6

# H30 問15

問15 無負荷で一次電圧 6 600 V，二次電圧 200 V の単相変圧器がある。一次巻線抵抗  $r_1 = 0.6 \Omega$ ，一次巻線漏れリアクタンス  $x_1 = 3 \Omega$ ，二次巻線抵抗  $r_2 = 0.5 \text{ m}\Omega$ ，二次巻線漏れリアクタンス  $x_2 = 3 \text{ m}\Omega$  である。計算に当たっては，二次側の諸量を一次側に換算した簡易等価回路を用い，励磁回路は無視するものとして，次の(a)及び(b)の間に答えよ。

(a) この変圧器の一次側に換算したインピーダンスの大きさ [ $\Omega$ ] として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 1.15      (2) 3.60      (3) 6.27      (4) 6.37      (5) 7.40

(b) この変圧器の二次側を 200 V に保ち，容量 200 kV·A，力率 0.8(遅れ)の負荷を接続した。このときの一次電圧の値 [V] として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 6 600      (2) 6 700      (3) 6 740      (4) 6 800      (5) 6 840

# 導出のポイント

問 15 無負荷で一次電圧 6600 V、二次電圧 200 V の単相変圧器がある。一次巻線抵抗  $r_1 = 0.6 \Omega$ 、一次巻線漏れリアクタンス  $x_1 = 3 \Omega$ 、二次巻線抵抗  $r_2 = 0.5 \text{ m}\Omega$ 、二次巻線漏れリアクタンス  $x_2 = 3 \text{ m}\Omega$  である。計算に当たっては、二次側の諸量を一次側に換算した簡易等価回路を用い、励磁回路は無視するものとして、次の(a)及び(b)の間に答えよ。

(a) この変圧器の一次側に換算したインピーダンスの大きさ  $[\Omega]$  として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 1.15      (2) 3.60      (3) 6.27      (4) 6.37      (5) 7.40

## 巻線比 $a$ を求める

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{6600}{200} = 33$$

## 一次側換算のインピーダンスを求める

$$r'_1 = r_1 + a^2 r_2 = 0.6 + 33^2 \times 0.5 \text{ m} = 1.145 \Omega$$

$$x'_1 = x_1 + a^2 x_2 = 3 + 33^2 \times 3 \text{ m} = 6.267 \Omega$$

$$z = \sqrt{r_1'^2 + x_1'^2} = \sqrt{1.145^2 + 6.267^2} = 6.37 \Omega$$

(b) この変圧器の二次側を 200 V に保ち、容量 200 kV·A、力率 0.8(遅れ)の負荷を接続した。このときの一次電圧の値  $[\text{V}]$  として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 6600      (2) 6700      (3) 6740      (4) 6800      (5) 6840

## %抵抗降下を求める

$$p = \frac{r I_n}{V_n} \times 100 = \frac{r'_1}{Z_{BASE}} \times 100 = r'_1 \times \frac{S_n}{V_n^2} \times 100$$

$$= 1.145 \times \frac{200 \times 1000}{6600^2} \times 100 = 0.526 \%$$

## %リアクタンス降下を求める

$$q = \frac{x I_n}{V_n} \times 100 = \frac{x'_1}{Z_{BASE}} \times 100 = x'_1 \times \frac{S_n}{V_n^2} \times 100$$

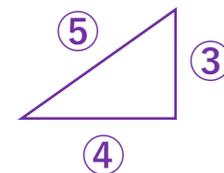
$$= 6.267 \times \frac{200 \times 1000}{6600^2} \times 100 = 2.877 \%$$

## 電圧変動率を求める

$$\varepsilon = p \cos \theta + q \sin \theta$$

$$= 0.526 \times 0.8 + 2.877 \times 0.6 = 2.147 \%$$

$$\sqrt{1 - 0.8^2} = 0.6$$



Copy right © 電験と  $V_1 = \left(1 + \frac{\varepsilon}{100}\right) \times V_n = \left(1 + \frac{2.147}{100}\right) \times 6600 = 6742 \text{ V}$

# H30 問15

問15 無負荷で一次電圧 6 600 V、二次電圧 200 V の単相変圧器がある。一次巻線抵抗  $r_1 = 0.6 \Omega$ 、一次巻線漏れリアクタンス  $x_1 = 3 \Omega$ 、二次巻線抵抗  $r_2 = 0.5 \text{ m}\Omega$ 、二次巻線漏れリアクタンス  $x_2 = 3 \text{ m}\Omega$  である。計算に当たっては、二次側の諸量を一次側に換算した簡易等価回路を用い、励磁回路は無視するものとして、次の(a)及び(b)の間に答えよ。

(a) この変圧器の一次側に換算したインピーダンスの大きさ [ $\Omega$ ] として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 1.15      (2) 3.60      (3) 6.27      (4) 6.37      (5) 7.40

(b) この変圧器の二次側を 200 V に保ち、容量 200 kV·A、力率 0.8(遅れ)の負荷を接続した。このときの一次電圧の値 [V] として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 6 600      (2) 6 700      (3) 6 740      (4) 6 800      (5) 6 840

# H23 問15

問15 次の定数をもつ定格一次電圧 2 000 [V]， 定格二次電圧 100 [V]， 定格二次電流 1 000 [A] の単相変圧器について， (a) 及び (b) の間に答えよ。

ただし， 励磁アドミタンスは無視するものとする。

一次巻線抵抗  $r_1 = 0.2$  [ $\Omega$ ]， 一次漏れリアクタンス  $x_1 = 0.6$  [ $\Omega$ ]，

二次巻線抵抗  $r_2 = 0.0005$  [ $\Omega$ ]， 二次漏れリアクタンス  $x_2 = 0.0015$  [ $\Omega$ ]

(a) この変圧器の百分率インピーダンス降下 [%] 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) 2.00      (2) 3.16      (3) 4.00      (4) 33.2      (5) 664

(b) この変圧器の二次側に力率 0.8(遅れ)の定格負荷を接続して運転しているときの電圧変動率 [%] 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。

(1) 2.60      (2) 3.00      (3) 27.3      (4) 31.5      (5) 521

# 導出のポイント

問15 次の定数をもつ定格一次電圧 2000 [V]， 定格二次電圧 100 [V]， 定格二次電流 1000 [A] の単相変圧器について， (a) 及び (b) の間に答えよ。

ただし， 励磁アドミタンスは無視するものとする。

一次巻線抵抗  $r_1 = 0.2$  [Ω]， 一次漏れリアクタンス  $x_1 = 0.6$  [Ω]，

二次巻線抵抗  $r_2 = 0.0005$  [Ω]， 二次漏れリアクタンス  $x_2 = 0.0015$  [Ω]

(a) この変圧器の百分率インピーダンス降下 [%] 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。

## 巻線比 $a$ を求める

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{2000}{100} = 20$$

## 一次側換算のインピーダンスを求める

$$r'_1 = r_1 + a^2 r_2 = 0.2 + 20^2 \times 0.0005 = 0.4 \text{ } \Omega$$

$$x'_1 = x_1 + a^2 x_2 = 0.6 + 20^2 \times 0.0015 = 1.2 \text{ } \Omega$$

$$z = \sqrt{r_1'^2 + x_1'^2} = \sqrt{0.4^2 + 1.2^2} = 1.265 \text{ } \Omega$$

## パーセントインピーダンスを求める

$$\begin{aligned} \%Z &= \frac{z}{Z_{BASE}} \times 100 = z \times \frac{I_1}{V_1} \times 100 = z \times \frac{I_2/a}{V_1} \times 100 \\ &= 1.265 \times \frac{1000/20}{2000} \times 100 = 3.16 \% \end{aligned}$$

# 導出のポイント

問15 次の定数をもつ定格一次電圧 2000 [V]， 定格二次電圧 100 [V]， 定格二次電流 1000 [A] の単相変圧器について， (a) 及び (b) の間に答えよ。

ただし， 励磁アドミタンスは無視するものとする。

一次巻線抵抗  $r_1 = 0.2$  [Ω]， 一次漏れリアクタンス  $x_1 = 0.6$  [Ω]，

二次巻線抵抗  $r_2 = 0.0005$  [Ω]， 二次漏れリアクタンス  $x_2 = 0.0015$  [Ω]

(b) この変圧器の二次側に力率 0.8 (遅れ) の定格負荷を接続して運転しているときの電圧変動率 [%] 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。

$$\begin{aligned} r'_1 &= 0.4 \Omega \\ x'_1 &= 1.2 \Omega \\ z &= 1.265 \Omega \end{aligned}$$

基準インピーダンス (1次側) を求める

$$Z_{BASE} = \frac{V_1}{I_1} = \frac{V_1}{I_2/a} = \frac{2000}{1000/20} = 40 \Omega$$

%抵抗降下を求める

$$\begin{aligned} p &= \frac{rI_n}{V_n} \times 100 = \frac{r'_1}{Z_{BASE}} \times 100 \\ &= \frac{0.4}{40} \times 100 = 1 \% \end{aligned}$$

%リアクタンス降下を求める

$$\begin{aligned} q &= \frac{xI_n}{V_n} \times 100 = \frac{x'_1}{Z_{BASE}} \times 100 \\ &= \frac{1.2}{40} \times 100 = 3 \% \end{aligned}$$

電圧変動率を求める

$$\begin{aligned} \varepsilon &= p \cos \theta + q \sin \theta \\ &= 1 \times 0.8 + 3 \times 0.6 = 2.6 \% \end{aligned}$$

# H23 問15

問15 次の定数をもつ定格一次電圧 2 000 [V]， 定格二次電圧 100 [V]， 定格二次電流 1 000 [A] の単相変圧器について， (a) 及び (b) の間に答えよ。

ただし， 励磁アドミタンスは無視するものとする。

一次巻線抵抗  $r_1 = 0.2$  [ $\Omega$ ]， 一次漏れリアクタンス  $x_1 = 0.6$  [ $\Omega$ ]，

二次巻線抵抗  $r_2 = 0.0005$  [ $\Omega$ ]， 二次漏れリアクタンス  $x_2 = 0.0015$  [ $\Omega$ ]

(a) この変圧器の百分率インピーダンス降下 [%] 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) 2.00    (2) 3.16    (3) 4.00    (4) 33.2    (5) 664

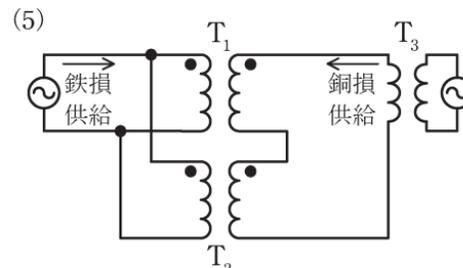
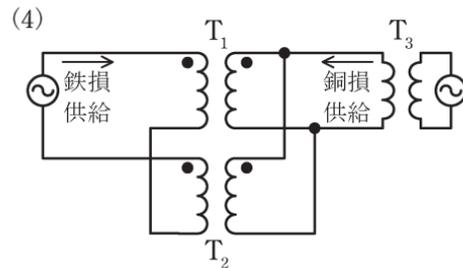
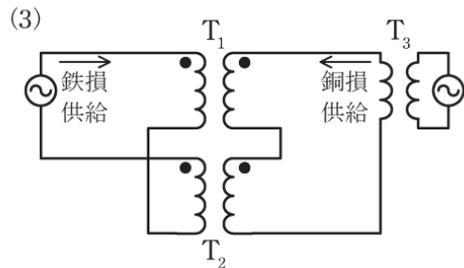
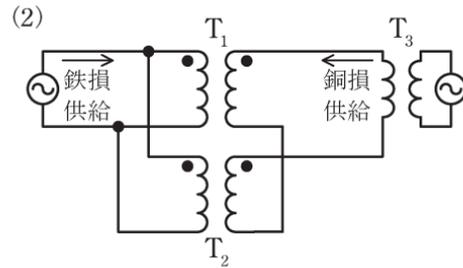
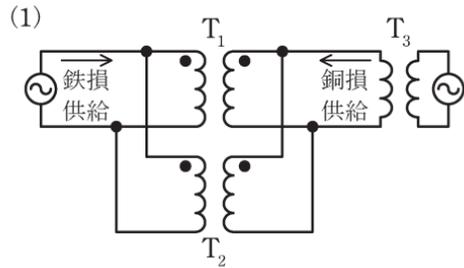
(b) この変圧器の二次側に力率 0.8 (遅れ) の定格負荷を接続して運転しているときの電圧変動率 [%] の値として， 最も近いものを次の (1)～(5) のうちから一つ選べ。

(1) 2.60    (2) 3.00    (3) 27.3    (4) 31.5    (5) 521

# 変圧器の試験

# RO1 問9

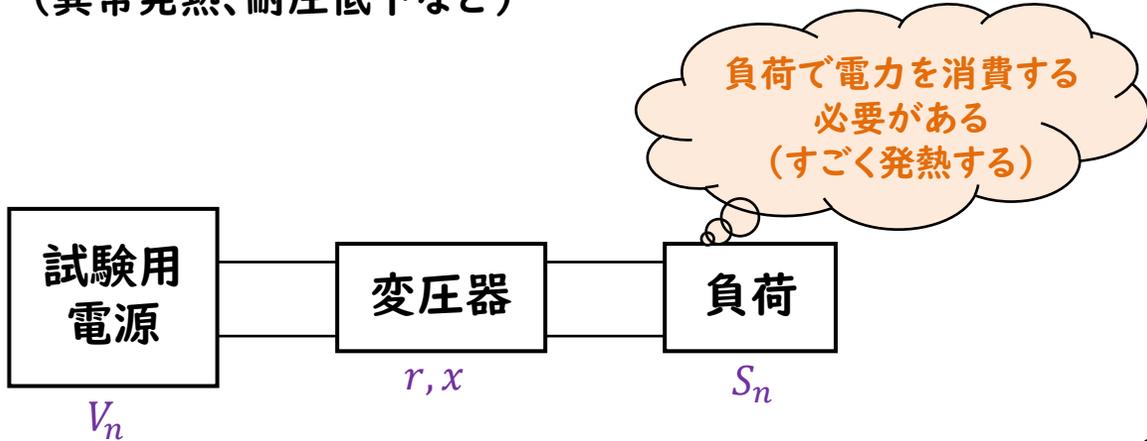
問9 変圧器の試験方法の一つに温度上昇試験がある。小形変圧器の場合には実負荷法を用いるが、電力用等の大形変圧器では返還負荷法を用いる。返還負荷法では、外部電源から鉄損と銅損に相当する電力のみを供給すればよいので試験電源が比較的小規模なものです。単相変圧器におけるこの試験の結線方法及び図中に示す鉄損、銅損の供給方法として、次の(1)～(5)のうちから正しいものを一つ選べ。ただし、 $T_1$ 、 $T_2$ は試験対象となる同じ仕様の変圧器、 $T_3$ は補助変圧器である。



# 変換負荷法

## 変圧器の定格試験

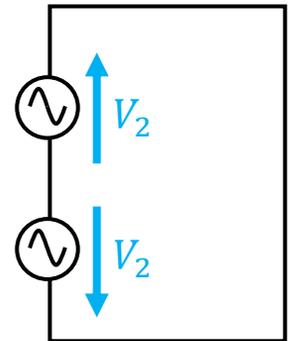
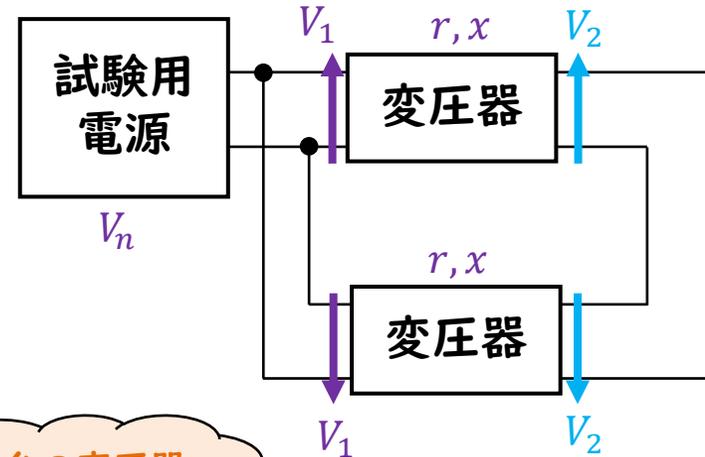
→ 定格動作時に異常が起きないかを確認するために行う  
(異常発熱、耐圧低下など)



2台の同じ性能の変圧器を  
極性を逆にして並列接続

二次側は直列接続  
負荷は短絡

二次側の回路の  
電圧の総和は  
0Vとなる



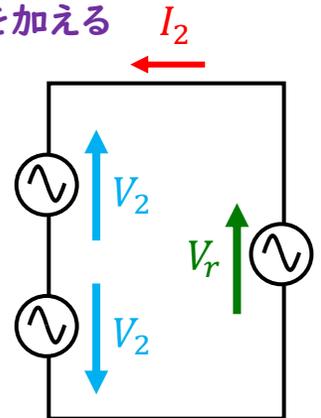
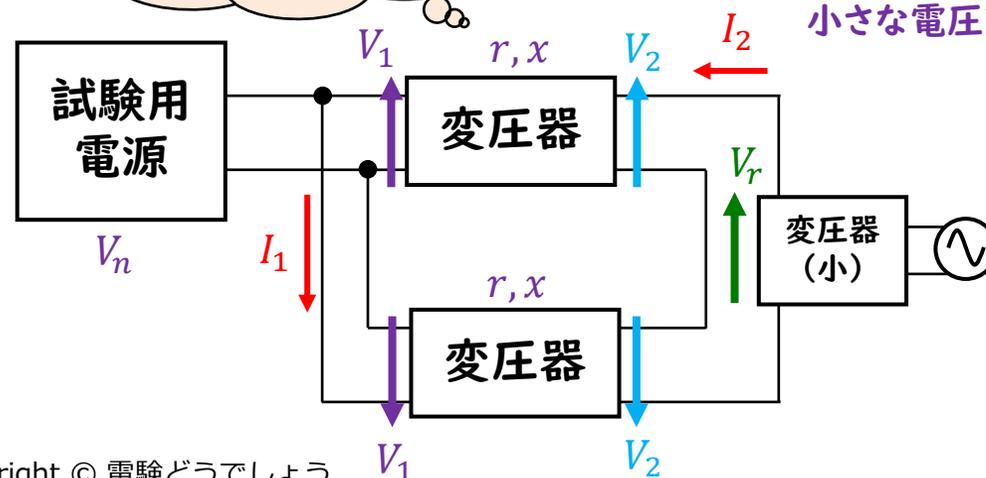
発熱は2台の変圧器  
の巻き線抵抗のみ

定格電流を流すため  
小さな電圧  $V_r$  を加える

## 変換負荷法

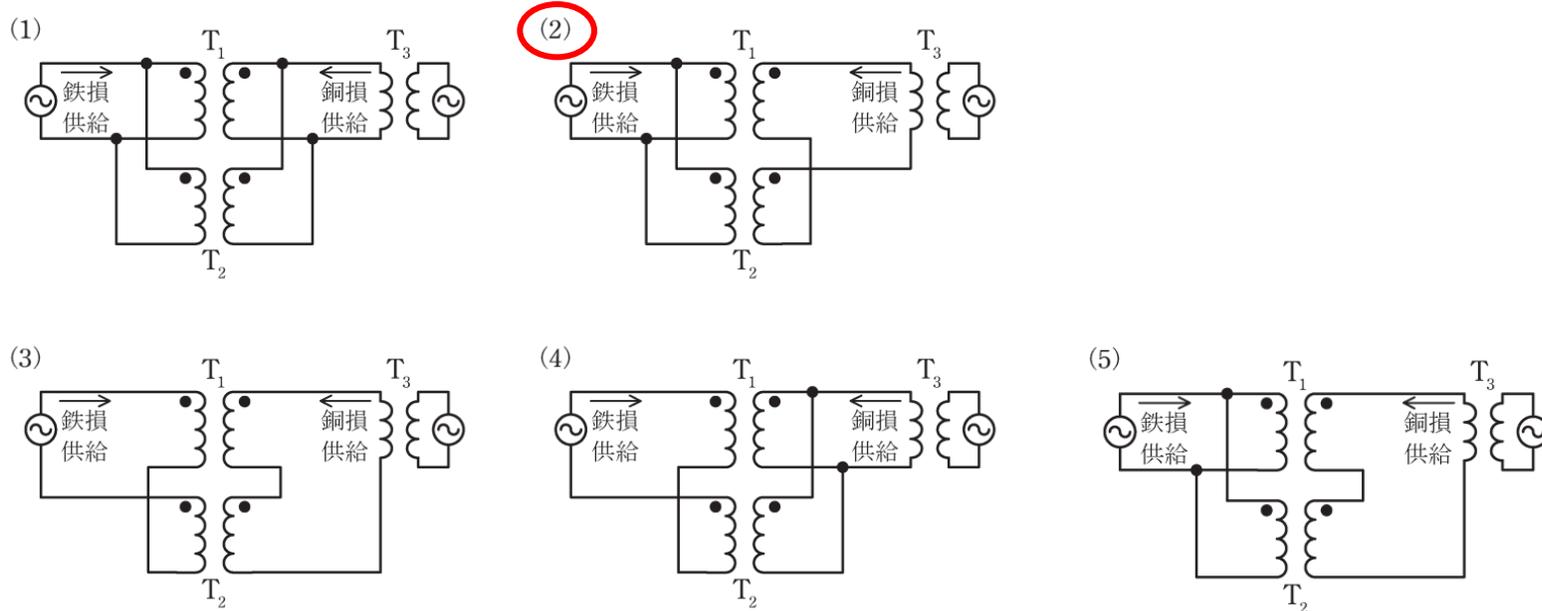
試験用変圧器を2台用意し、

- 一次側は試験用電源に極性を逆にして並列接続
- 二次側は直列接続 (負荷は短絡)  
→ 定格電圧を印加しても電流が流れない状態ができる
- 二次側に変圧器を介して、小さな電圧を加える  
→ 2台の変圧器間に定格電流を循環させることができる



# RO1 問9

問9 変圧器の試験方法の一つに温度上昇試験がある。小形変圧器の場合には実負荷法を用いるが、電力用等の大形変圧器では返還負荷法を用いる。返還負荷法では、外部電源から鉄損と銅損に相当する電力のみを供給すればよいので試験電源が比較的小規模なものです。単相変圧器におけるこの試験の結線方法及び図中に示す鉄損、銅損の供給方法として、次の(1)～(5)のうちから正しいものを一つ選べ。ただし、 $T_1$ 、 $T_2$ は試験対象となる同じ仕様の変圧器、 $T_3$ は補助変圧器である。



# H25 問15

問15 定格容量 10 [kV·A]，定格一次電圧 1000 [V]，定格二次電圧 100 [V] の単相変圧器で無負荷試験及び短絡試験を実施した。高圧側の回路を開放して低圧側の回路に定格電圧を加えたところ，電力計の指示は 80 [W] であった。次に，低圧側の回路を短絡して高圧側の回路にインピーダンス電圧を加えて定格電流を流したところ，電力計の指示は 120 [W] であった。

(a) 巻線の高圧側換算抵抗 [ $\Omega$ ] 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) 1.0      (2) 1.2      (3) 1.4      (4) 1.6      (5) 2.0

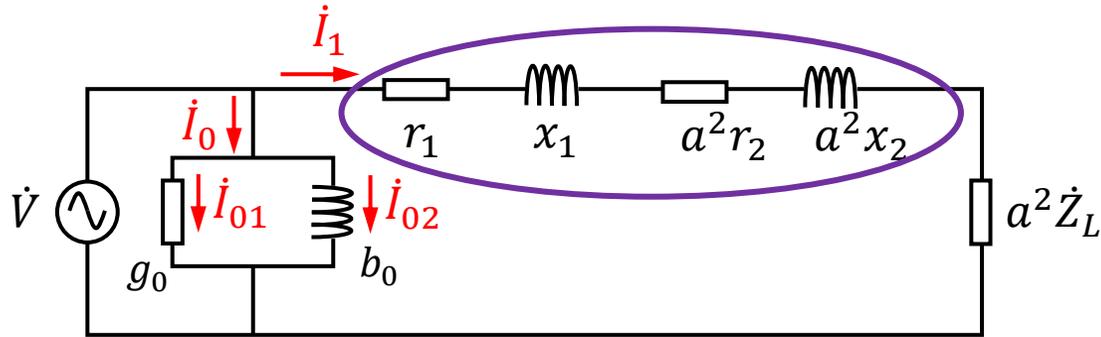
(b) 力率  $\cos\phi = 1$  の定格運転時の効率 [%] の値として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 95      (2) 96      (3) 97      (4) 98      (5) 99

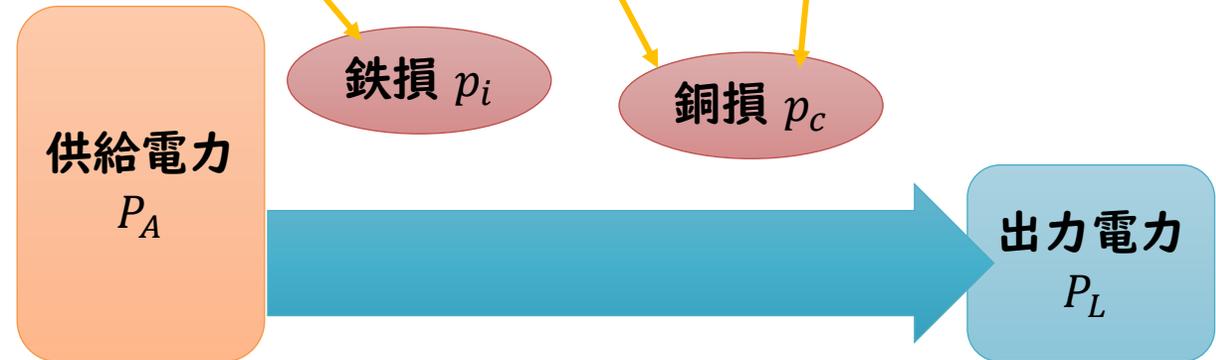
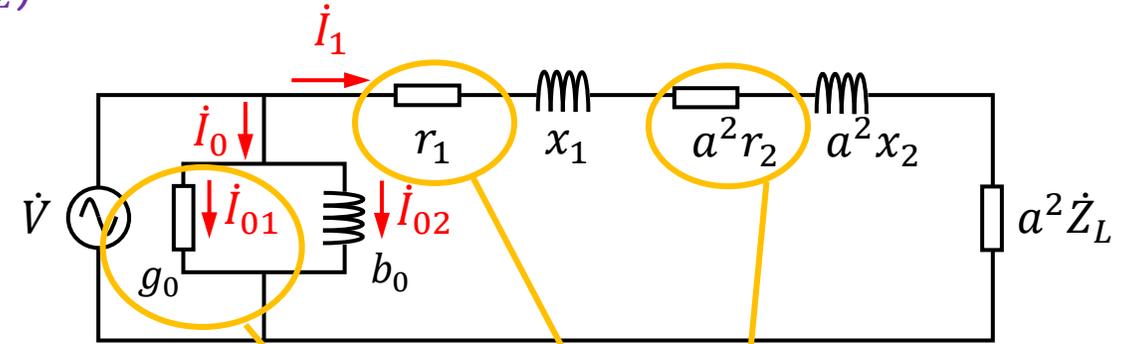
# 導出のポイント

## <変圧器の簡易等価回路>

電圧降下で扱うのはこの部分  
(%抵抗降下、%リアクタンス降下、%Z)



変圧器の効率、無負荷試験、短絡試験では  
励磁電流に関する部分も考慮する



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

# 導出のポイント

問15 定格容量 10 [kV·A]，定格一次電圧 1000 [V]，定格二次電圧 100 [V] の単相変圧器で無負荷試験及び短絡試験を実施した。高圧側の回路を開放して低圧側の回路に定格電圧を加えたところ，電力計の指示は 80 [W] であった。次に，低圧側の回路を短絡して高圧側の回路にインピーダンス電圧を加えて定格電流を流したところ，電力計の指示は 120 [W] であった。

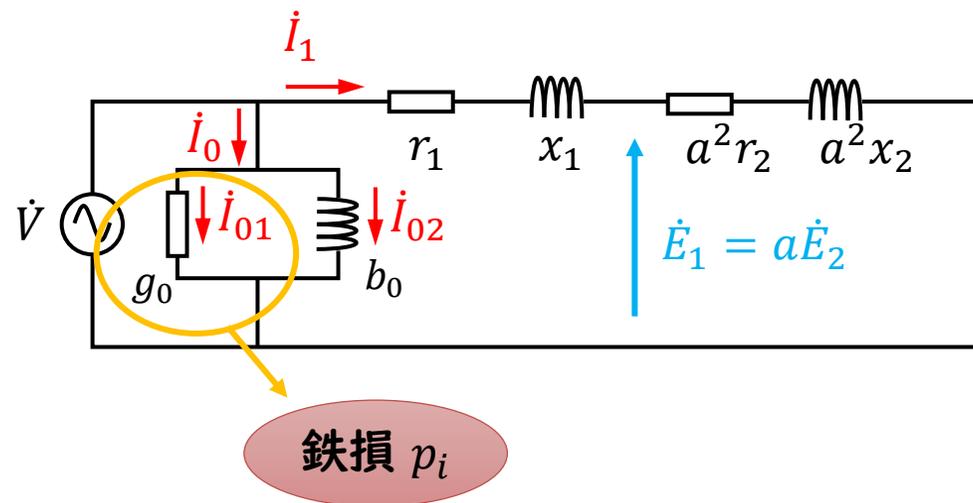
(a) 巻線の高圧側換算抵抗 [ $\Omega$ ] の値として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 1.0      (2) 1.2      (3) 1.4      (4) 1.6      (5) 2.0

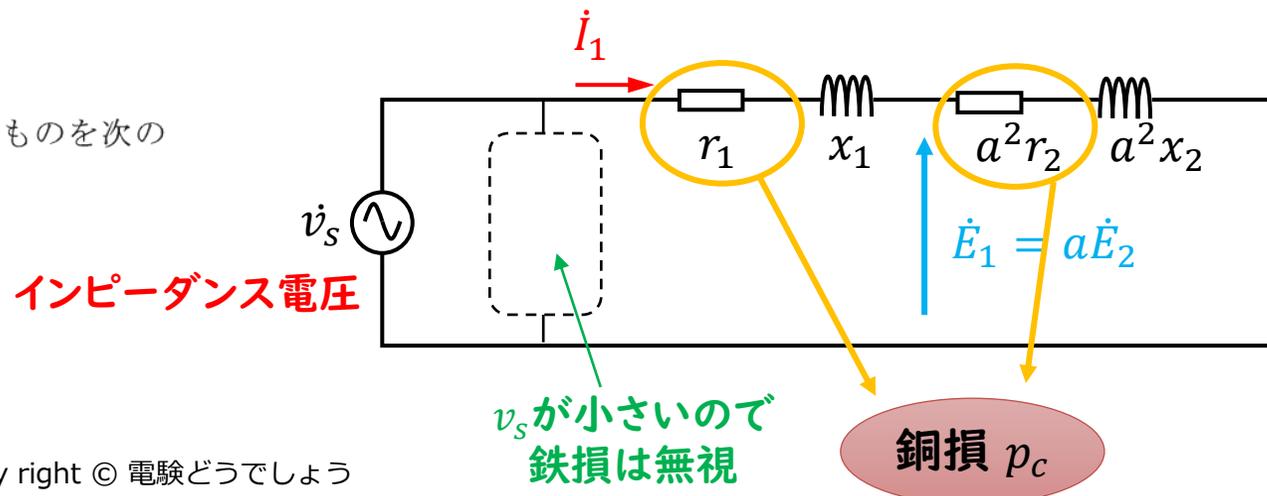
(b) 力率  $\cos\phi = 1$  の定格運転時の効率 [%] の値として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 95      (2) 96      (3) 97      (4) 98      (5) 99

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



# 導出のポイント

問15 定格容量 10 [kV·A]，定格一次電圧 1000 [V]，定格二次電圧 100 [V] の単相変圧器で無負荷試験及び短絡試験を実施した。高圧側の回路を開放して低圧側の回路に定格電圧を加えたところ，電力計の指示は 80 [W] であった。次に，低圧側の回路を短絡して高圧側の回路にインピーダンス電圧を加えて定格電流を流したところ，電力計の指示は 120 [W] であった。

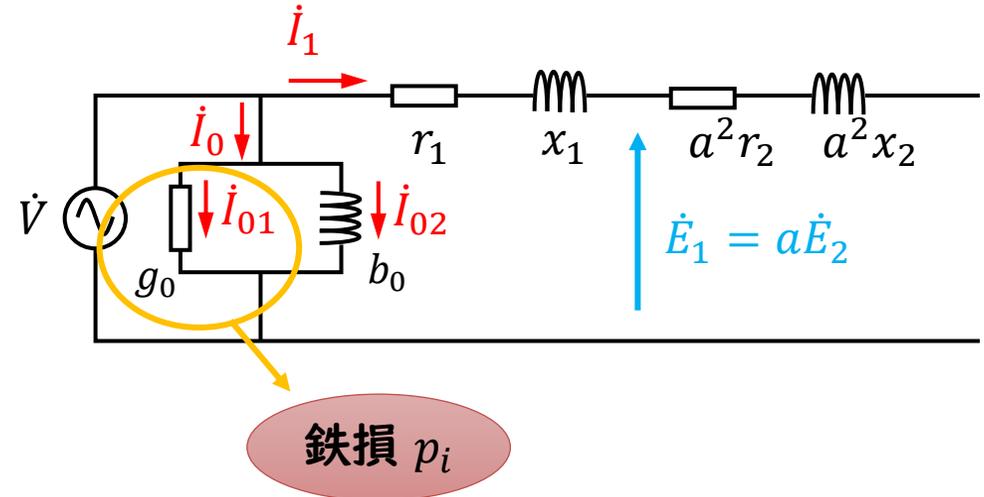
(a) 巻線の高圧側換算抵抗 [Ω] の値として，最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

$$p_c = (r_1 + a^2 r_2) I_1^2 = (r_1 + a^2 r_2) \times \left( \frac{S_n}{V_1} \right)^2 = (r_1 + a^2 r_2) \times \left( \frac{10000}{1000} \right)^2$$

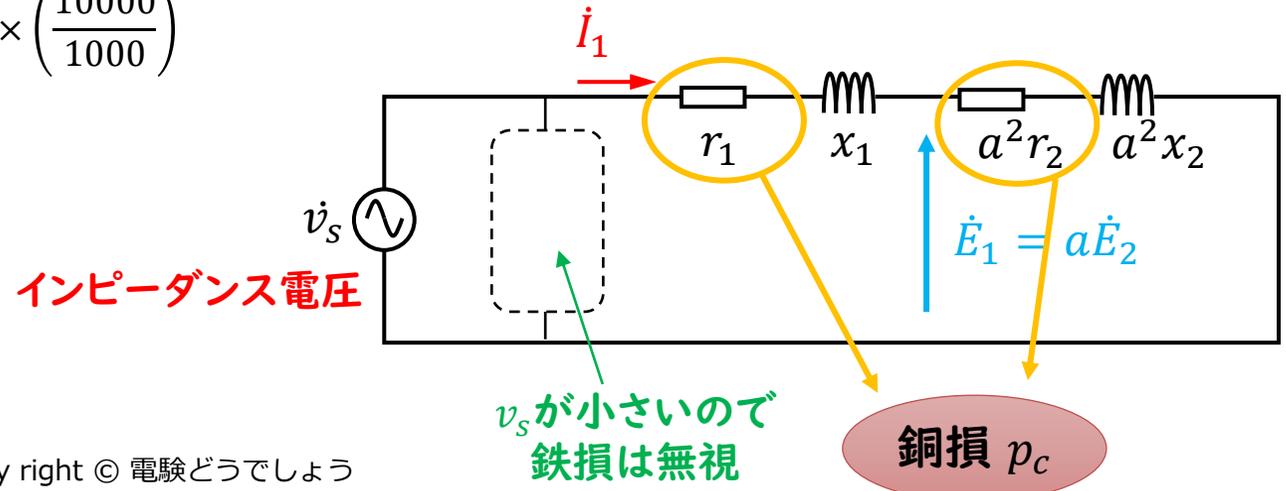
$$p_c = (r_1 + a^2 r_2) \times 100$$

$$r_1 + a^2 r_2 = \frac{p_c}{100} = \frac{120}{100} = 1.2 \Omega$$

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



# 導出のポイント

問15 定格容量 10 [kV·A]，定格一次電圧 1000 [V]，定格二次電圧 100 [V] の単相変圧器で無負荷試験及び短絡試験を実施した。高圧側の回路を開放して低圧側の回路に定格電圧を加えたところ，電力計の指示は 80 [W] であった。次に，低圧側の回路を短絡して高圧側の回路にインピーダンス電圧を加えて定格電流を流したところ，電力計の指示は 120 [W] であった。

(b) 力率  $\cos\phi = 1$  の定格運転時の効率 [%] 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。

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

$$= \frac{10000}{10000 + 80 + 120} \times 100 = 98 \%$$

## <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 $\alpha$ 倍のとき ( $\alpha$ : 負荷率)

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

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

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

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

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

## 最大効率時は $p_i = p_c$ が成り立つ

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

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

銅損は負荷率の2乗に比例

# H25 問15

問15 定格容量 10 [kV·A]，定格一次電圧 1000 [V]，定格二次電圧 100 [V] の単相変圧器で無負荷試験及び短絡試験を実施した。高圧側の回路を開放して低圧側の回路に定格電圧を加えたところ，電力計の指示は 80 [W] であった。次に，低圧側の回路を短絡して高圧側の回路にインピーダンス電圧を加えて定格電流を流したところ，電力計の指示は 120 [W] であった。

(a) 巻線の高圧側換算抵抗 [ $\Omega$ ] 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) 1.0      (2) 1.2      (3) 1.4      (4) 1.6      (5) 2.0

(b) 力率  $\cos\phi = 1$  の定格運転時の効率 [%] 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) 96      (3) 97      (4) 98      (5) 99

ご聴講ありがとうございました  
ございました!!