

電験どうでしょう管理人  
*KWG presents*

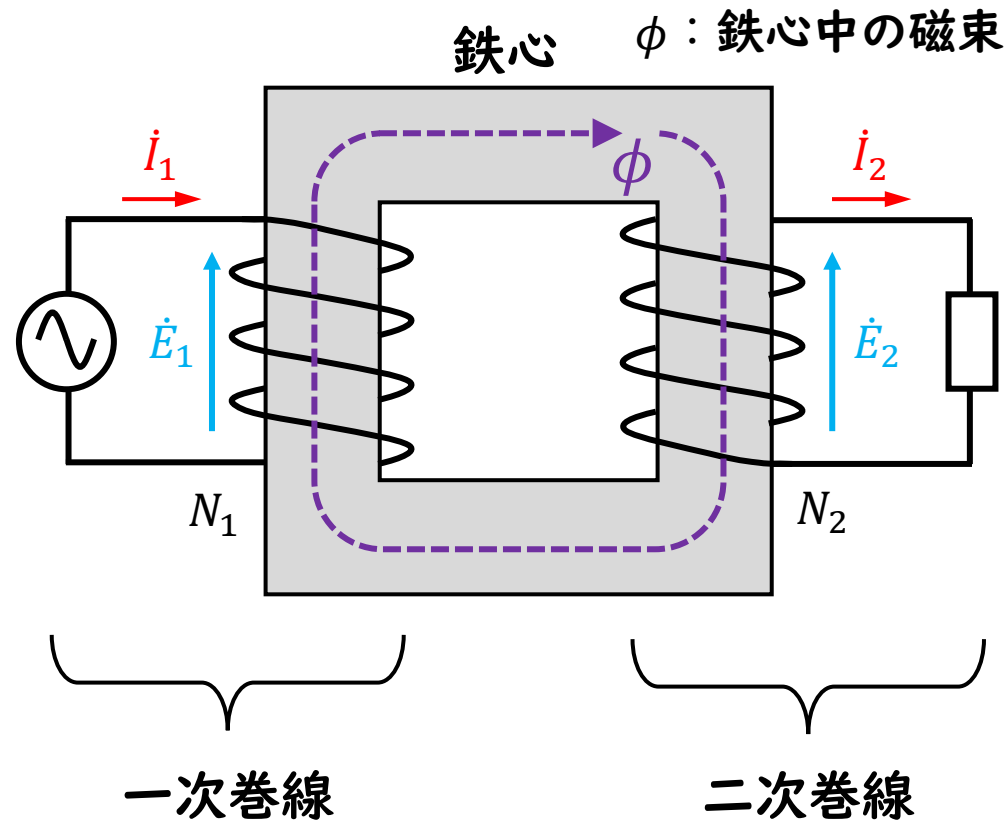
# 電験オンライン塾

## 第1回 変圧器

～変圧器の基礎（巻線と電気回路）～

2022.01.22 Sat

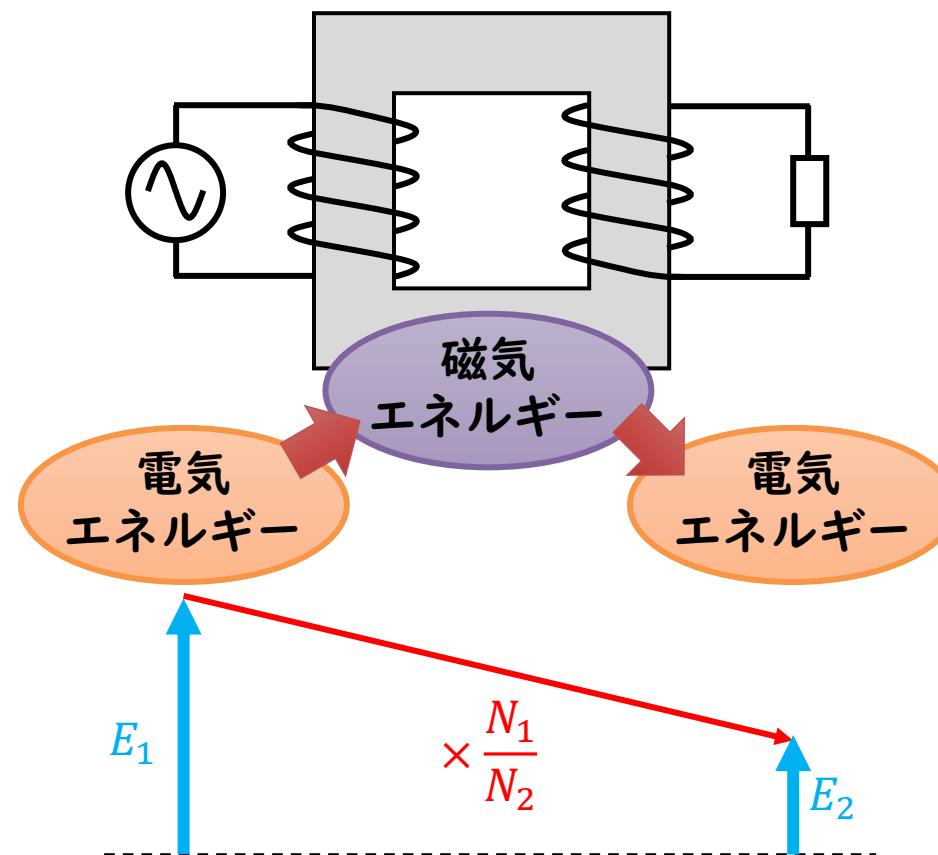
# 変圧器の基本特性



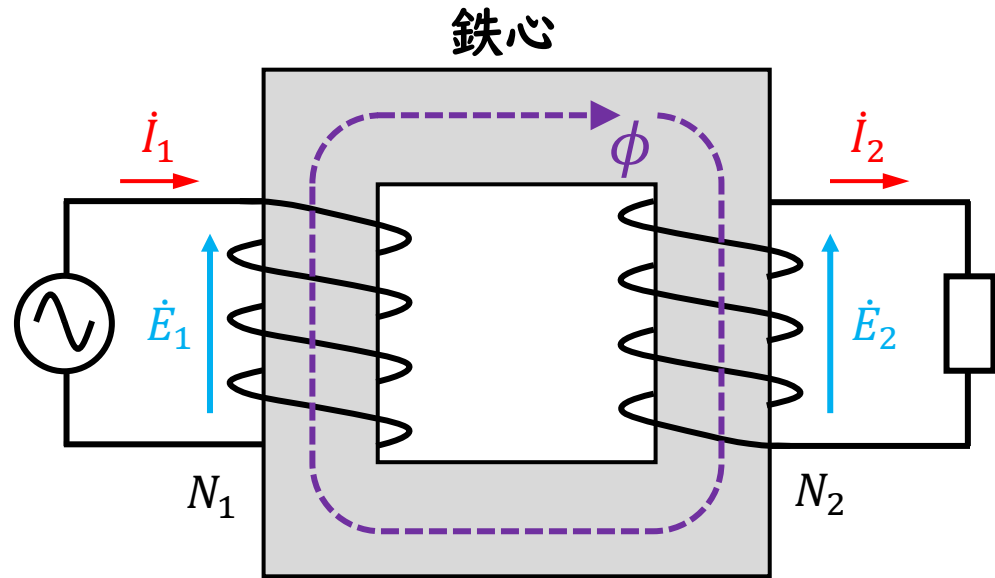
$N_1$  : 一次巻線の巻数  
 $E_1$  : 一次側電圧  
 $I_1$  : 一次側電流

$N_2$  : 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

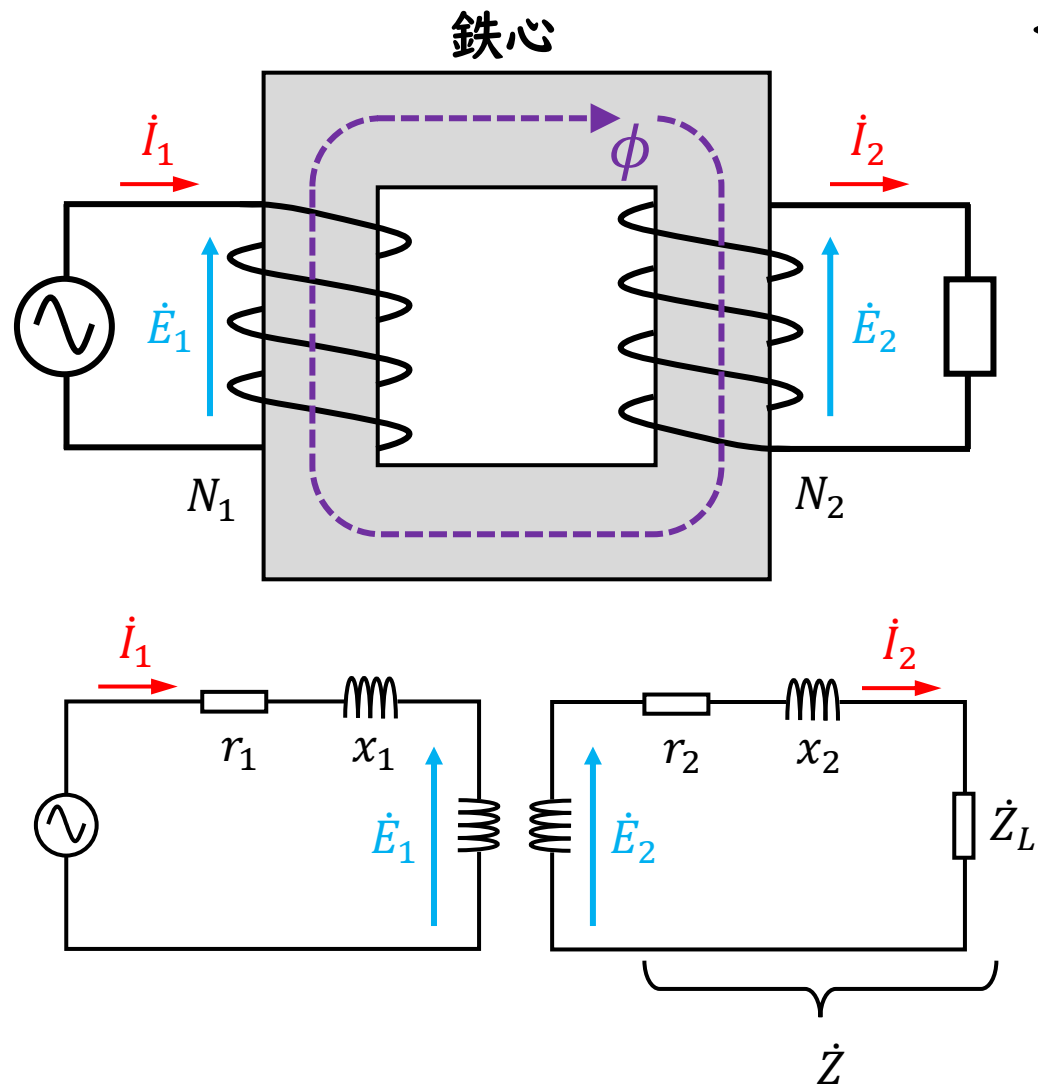
$$V = \frac{d\phi'}{dt}$$

$\phi'$  : 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  
 $S_1 = S_2 \rightarrow E_1 I_1 = E_2 I_2 \rightarrow a E_2 I_1 = E_2 I_2$

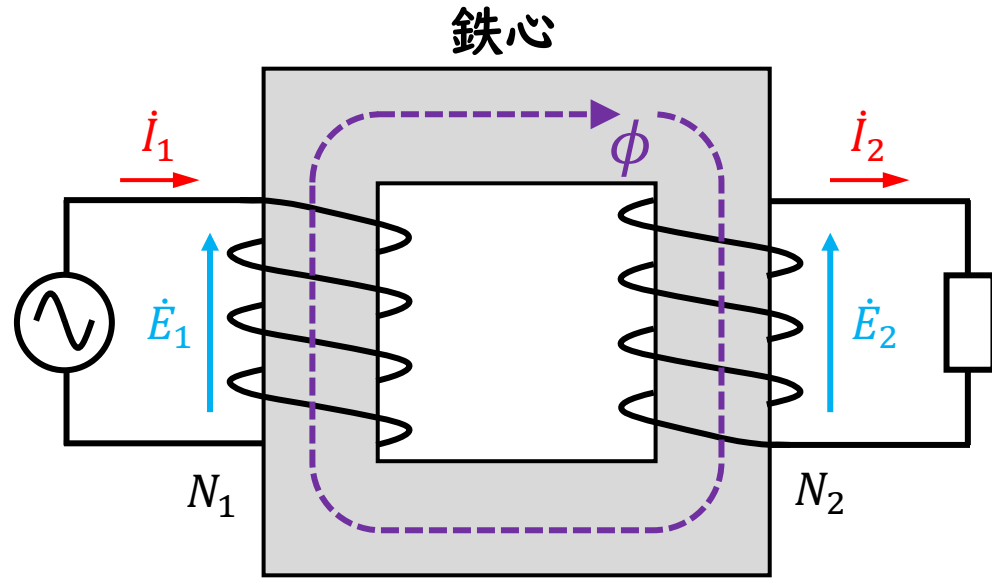
$$a I_1 = I_2 \rightarrow \therefore I_1 = \frac{1}{a} I_2$$

一次側からみえる負荷Zの大きさZ'

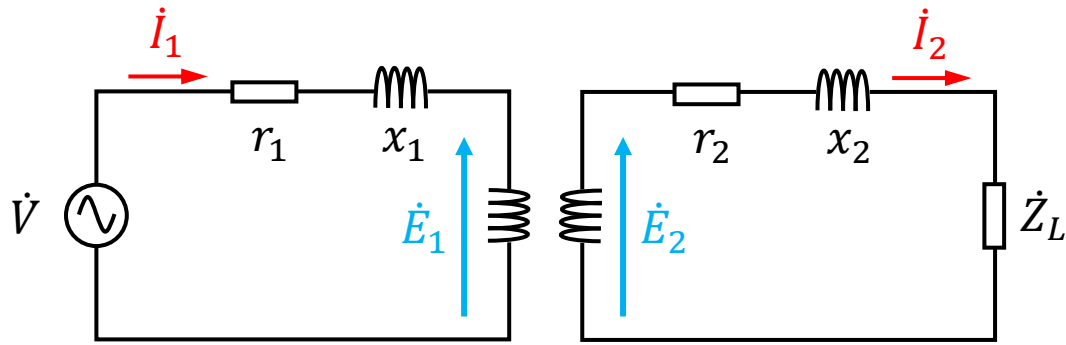
$$Z = \frac{E_2}{I_2}$$

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

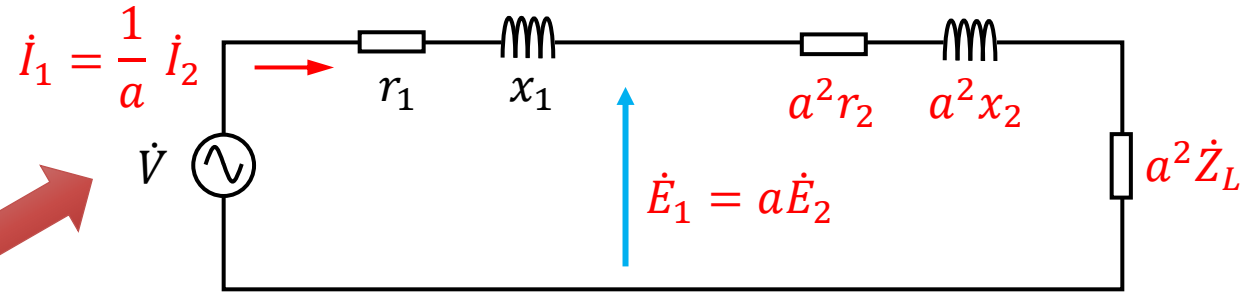
# 変圧器の等価回路 (超簡易版)



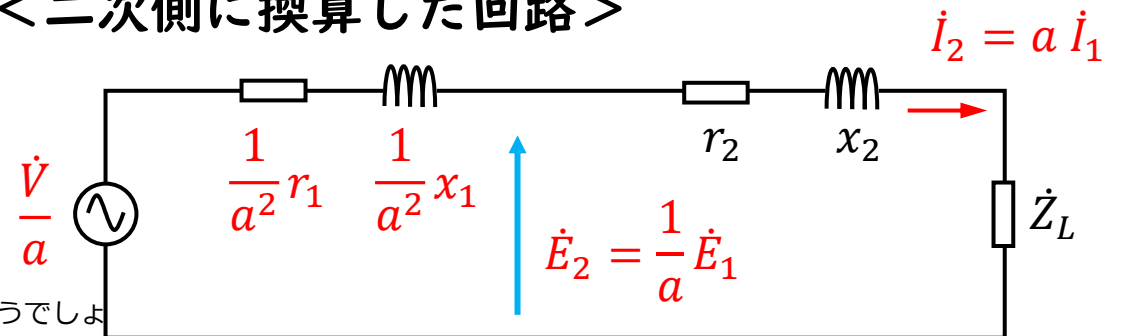
電気回路の要素	一次側	二次側
電力	1	1
電圧	$a$	1
電流	$1/a$	1
一次側からみた二次側負荷	$a^2$	1



<一次側に換算した回路>



<二次側に換算した回路>



# 機械 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  $x_2' = \boxed{\text{(エ)}} \cdot x_2$

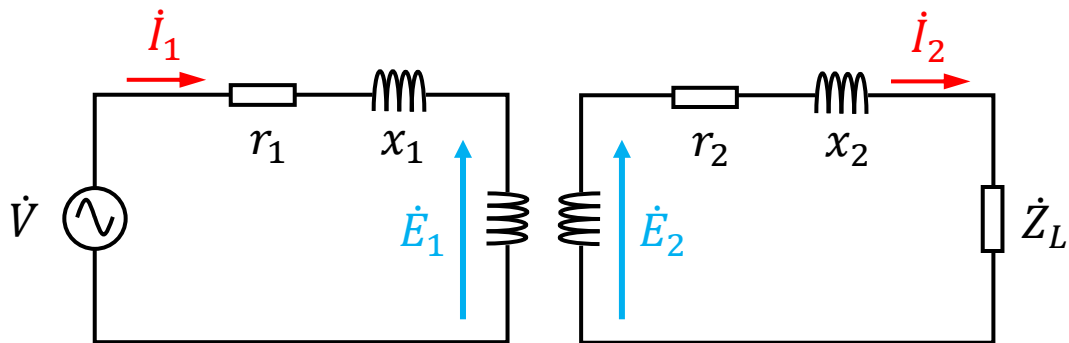
$\dot{Z}_L'$  : 負荷インピーダンス  $\dot{Z}_L$  を一次側に換算したもの  $\dot{Z}_L' = \boxed{\text{(オ)}} \cdot \dot{Z}_L$

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  $\dot{I}_2' = \boxed{イ}$   $\cdot \dot{I}_2$

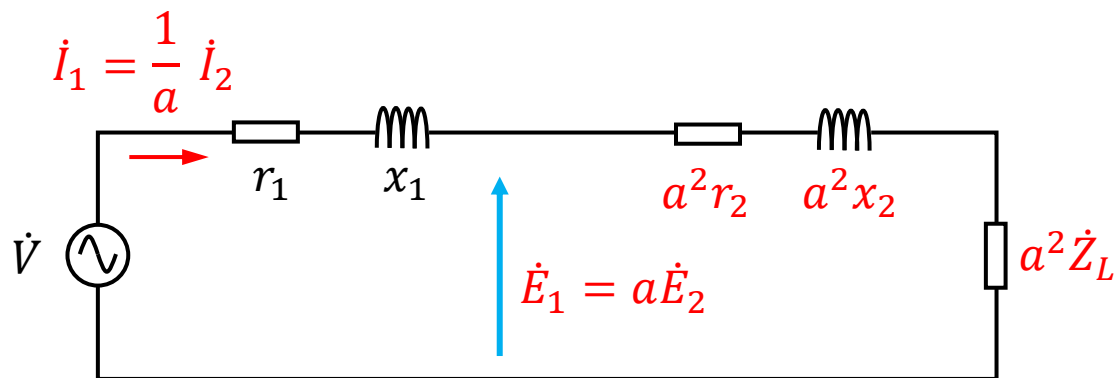
$r_2'$ : 二次抵抗  $r_2$  を一次側に換算したもの  $r_2' = \boxed{ウ}$   $\cdot r_2$

$x_2'$ : 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

# 機械 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)	$\frac{1}{a}$	$a$	$\frac{1}{a^2}$	$\frac{1}{a^2}$	$\frac{1}{a^2}$



# 機械 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。

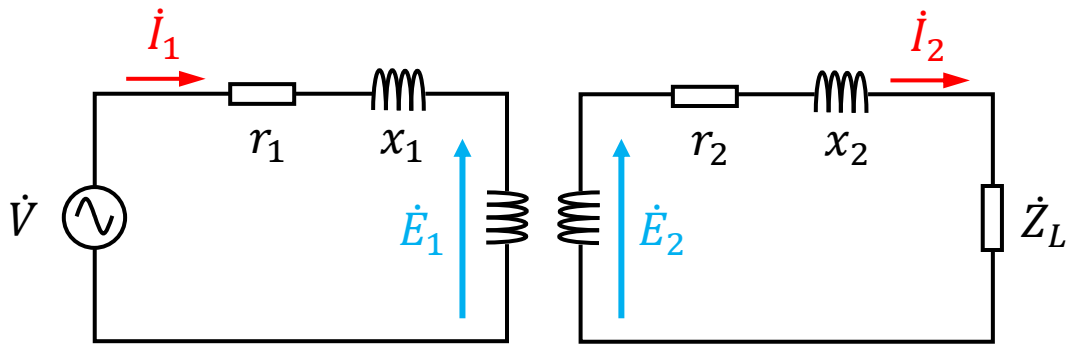
(a) この変圧器の一次側に換算したインピーダンスの大きさ [ $\Omega$ ] として，最も近いものを次の (1)～(5) のうちから一つ選べ。

- (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

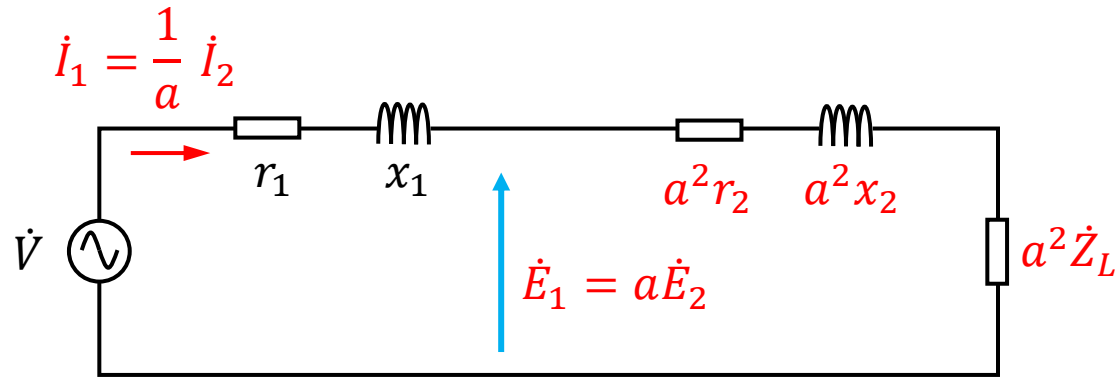
# 導出のポイント



問 15 無負荷で一次電圧 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

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

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

$$\begin{aligned} \dot{Z} &= r_1 + r_2' + j(x_1 + x_2') = 0.6 + 0.545 + j(3 + 3.267) \\ &= 1.145 + j3.327 \end{aligned}$$

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

# 機械 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

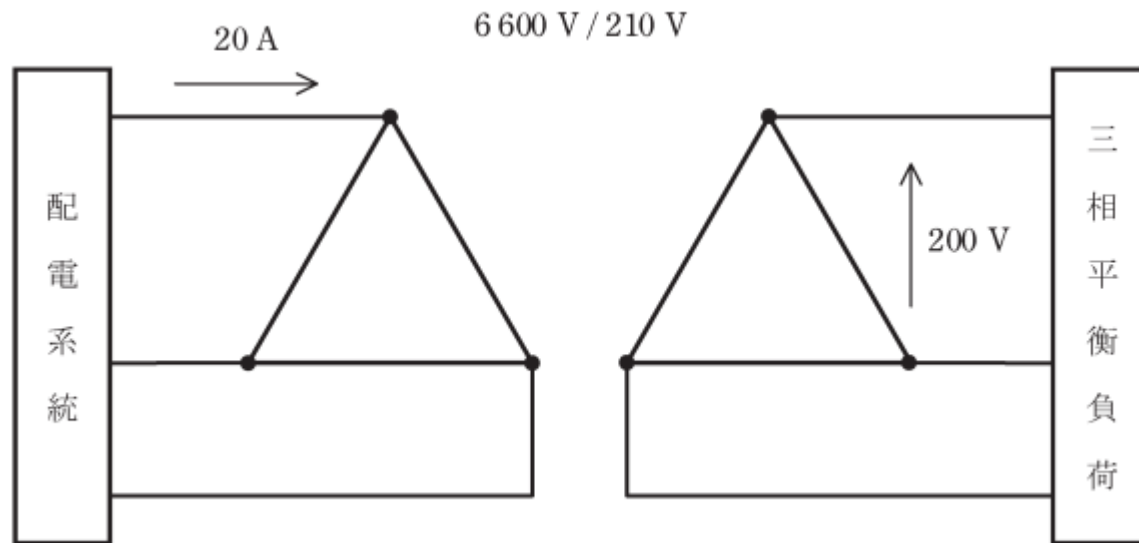
(b) この変圧器の二次側を 200 V に保ち，容量 200 kV·A，力率 0.8(遅れ)の負荷を接続した。このときの一次電圧の値 [V] として，最も近いものを次の (1)～(5) のうちから一つ選べ。

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

# 電力 H30 問8

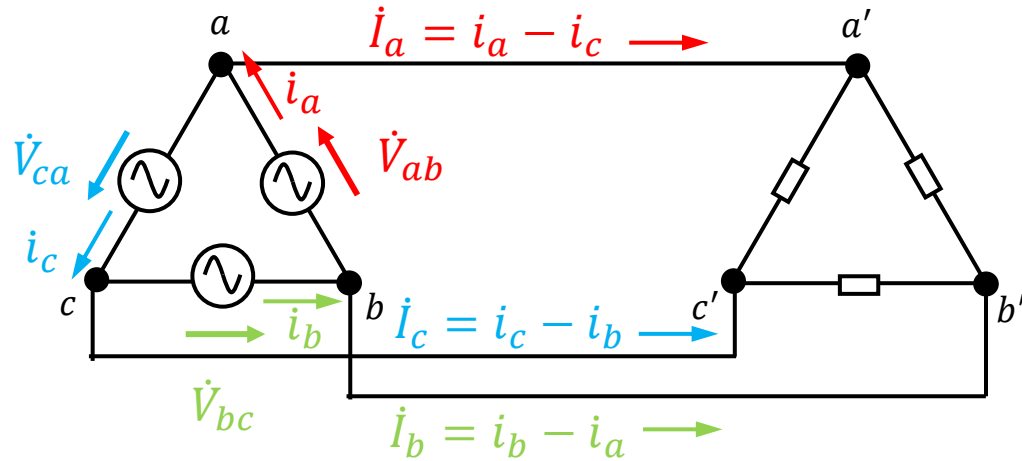
問8 図のように、単相の変圧器3台を一次側、二次側ともに $\Delta$ 結線し、三相对称電源とみなせる配電系統に接続した。変圧器の一次側の定格電圧は6600V、二次側の定格電圧は210Vである。二次側に三相平衡負荷を接続したときに、一次側の線電流20A、二次側の線間電圧200Vであった。負荷に供給されている電力[kW]として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。ただし、負荷の力率は0.8とする。なお、変圧器は理想変圧器とみなすことができ、線路のインピーダンスは無視することができる。

- (1) 58      (2) 101      (3) 174      (4) 218      (5) 302



# 三相交流の電力計算 (機械、電力)

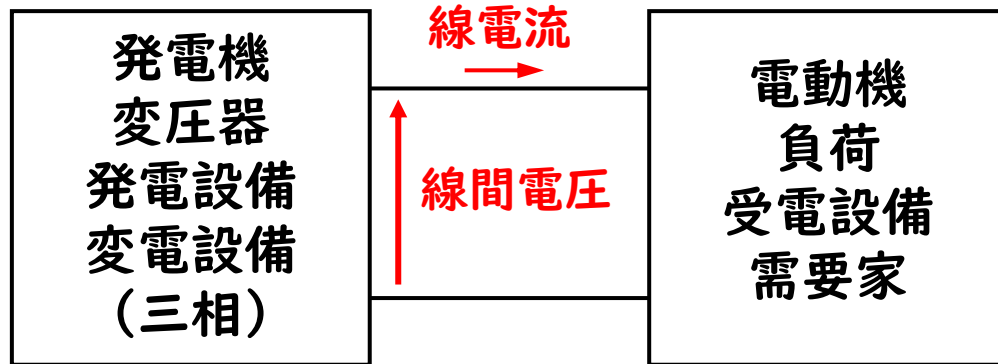
## △結線



$$3 \times (\text{相電圧}) \times (\text{線電流})$$

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

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



電源側の相電圧が  
分からない

## 三相交流の電力

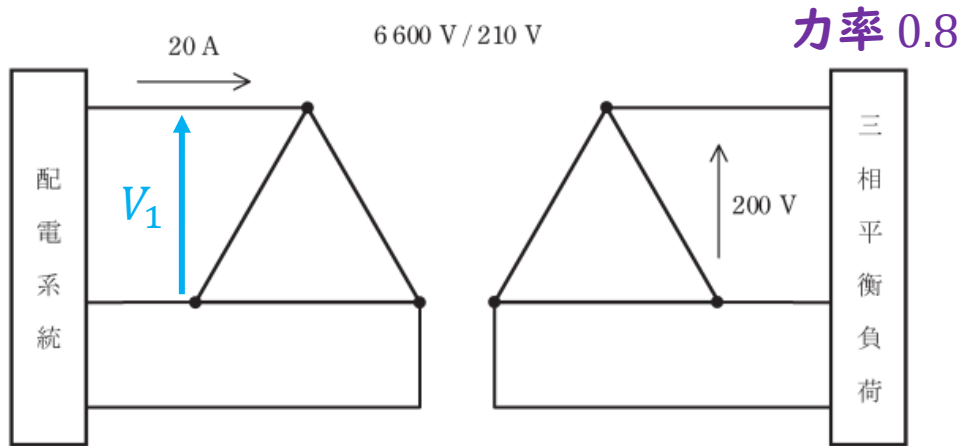
$$\sqrt{3} \times (\text{線間電圧}) \times (\text{線電流})$$

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

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

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

# 導出のポイント



巻線比を求める

$$a = \frac{E_1}{E_2} = \frac{6600}{210} = 31.4$$

一次側の電圧を求める

$$V_1 = aV_2 = 31.4 \times 200 = 6286 \text{ V}$$

一次側換算の値を使って負荷の電力を求める

**ポイント：一次側と二次側で電力は同じ**

$$P = \sqrt{3}V_1I_1\cos\theta = \sqrt{3} \times 6286 \times 20 \times 0.8$$

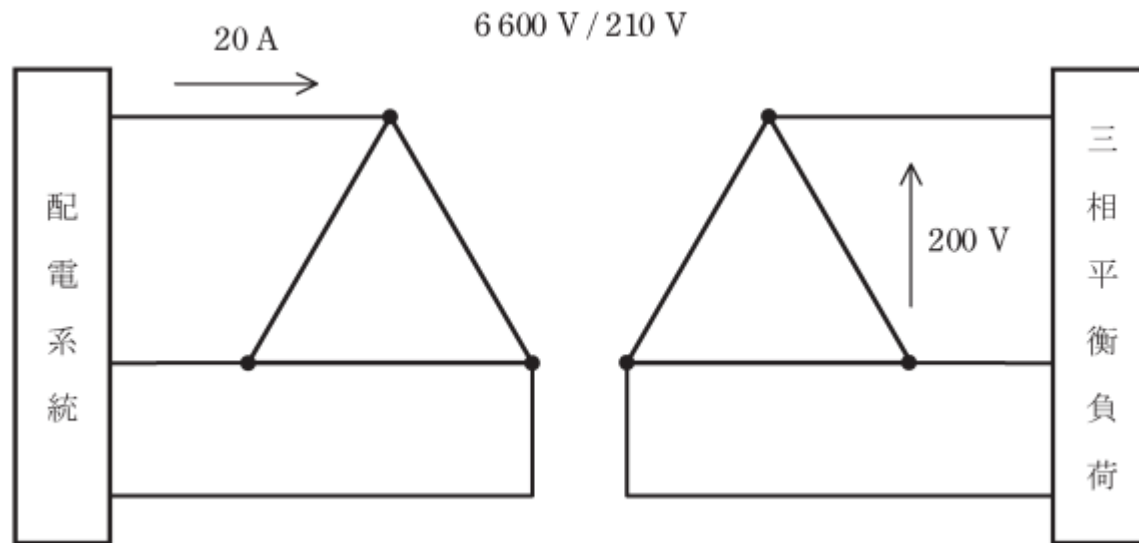
$$P = 174,200 \text{ W} = 174 \text{ kW}$$

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

# 電力 H30 問8

問8 図のように、単相の変圧器3台を一次側、二次側ともに $\Delta$ 結線し、三相对称電源とみなせる配電系統に接続した。変圧器の一次側の定格電圧は6600V、二次側の定格電圧は210Vである。二次側に三相平衡負荷を接続したときに、一次側の線電流20A、二次側の線間電圧200Vであった。負荷に供給されている電力[kW]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、負荷の力率は0.8とする。なお、変圧器は理想変圧器とみなすことができ、線路のインピーダンスは無視することができる。

- (1) 58      (2) 101      (3) 174      (4) 218      (5) 302



ご聴講ありがとうございました  
ございました!!