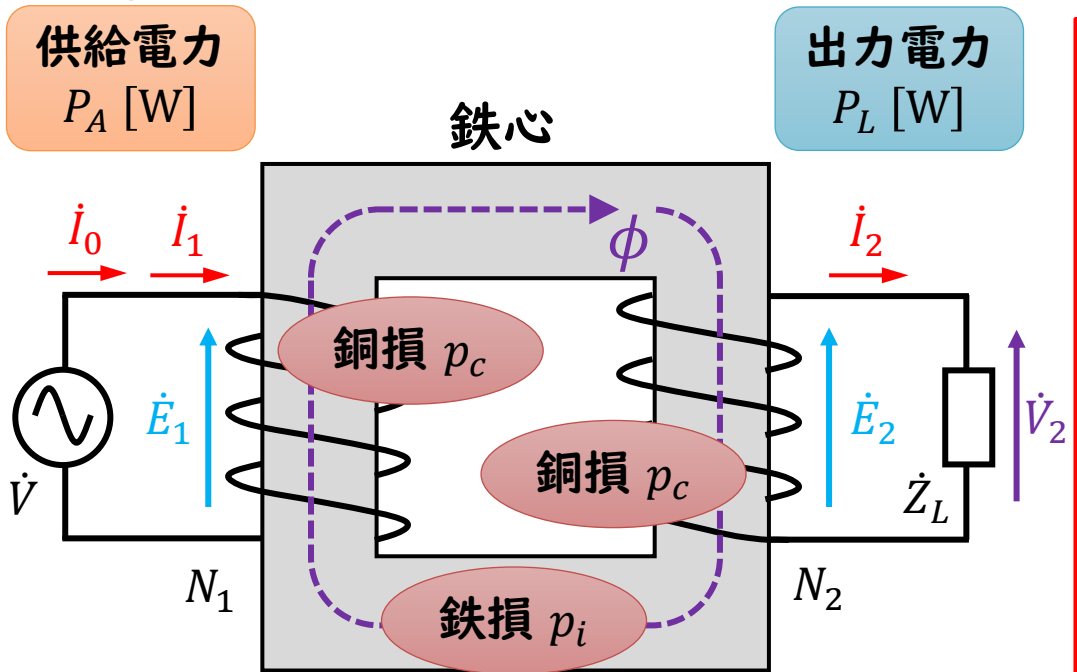


# 電験三種 オンライン講座

## 機械 過去問解説(3) 変圧器

# 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)

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

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

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

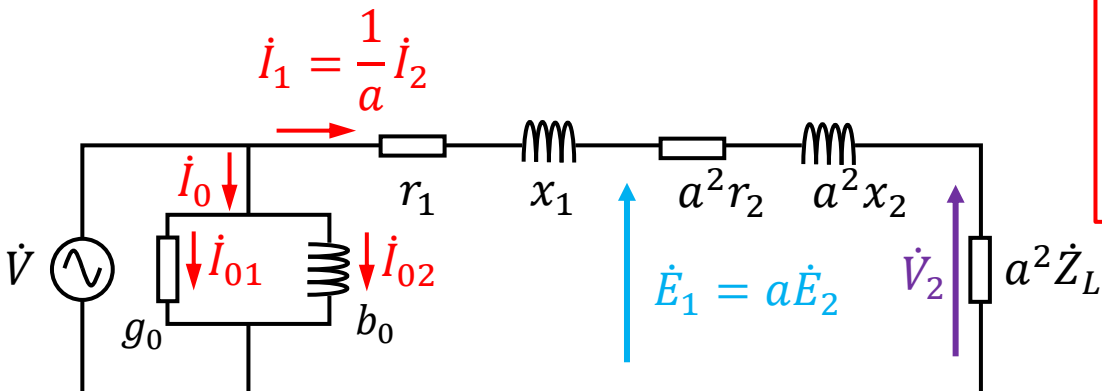
$$= (r_1 + a^2 r_2) (\alpha I_n)^2$$

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

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>



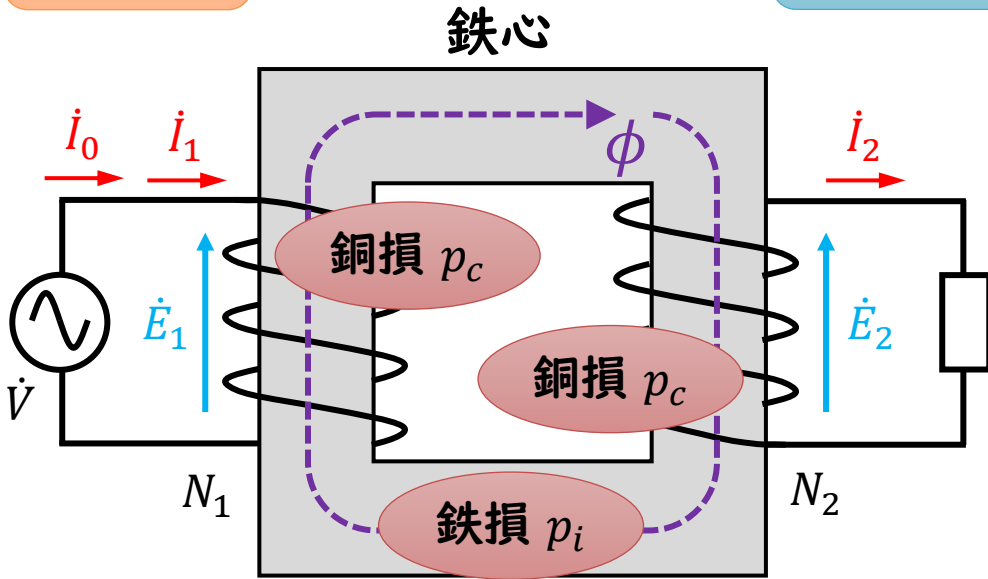
$$p_i = p_c = \alpha'^2 p_{cn} \rightarrow \alpha' = \sqrt{\frac{p_i}{p_{cn}}}$$

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

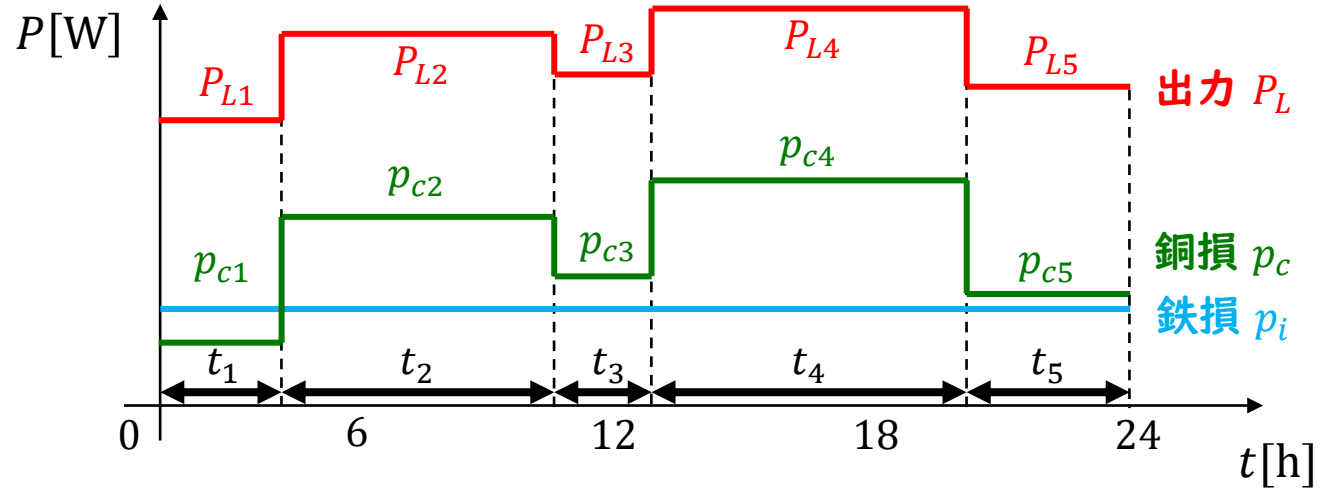
# 変圧器の電力と負荷率

供給電力  
 $P_A$  [VA]

出力電力  
 $P_L$  [VA]



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>

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

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

# H20 問16

定格容量50 [kV・A]の単相変圧器がある。この変圧器を定格電圧、力率100 [%]、全負荷の3/4の負荷で運転したとき、鉄損と銅損が等しくなり、そのときの効率は98.2 [%]であった。この変圧器について、次の(a)及び(b)に答えよ。

(a) この変圧器の銅損[W]の値として、最も近いのは次のうちどれか。

- (1) 344    (2) 382    (3) 425    (4) 472    (5) 536

(b) この変圧器を全負荷、力率100 [%]で運転したときの銅損 [W]の値として、最も近いのは次のうちどれか。

- (1) 325    (2) 453    (3) 579    (4) 611    (5) 712

# 導出のポイント

定格容量50 [kV・A]の単相変圧器がある。この変圧器を定格電圧、力率100 [%]、全負荷の3/4の負荷で運転したとき、鉄損と銅損が等しくなり、そのときの効率は98.2 [%]であった。この変圧器について、次の(a)及び(b)に答えよ。

(a) この変圧器の銅損[W]の値として、最も近いのは次のうちどれか。

- (1) 344    (2) 382    (3) 425    (4) 472    (5) 536

負荷率： $\alpha = 3/4$

このときの鉄損 $p_c$ と銅損 $p_i$ は $p_c = p_i$

効率 $\eta$ は

$$\eta = \frac{\alpha P_n \cos \theta}{\alpha P_n \cos \theta + p_i + p_c}$$

$$\rightarrow \alpha P_n \cos \theta = \eta(\alpha P_n \cos \theta + p_i + p_c) \rightarrow \frac{1}{\eta} \alpha P_n \cos \theta = \alpha P_n \cos \theta + p_i + p_c$$

$$\rightarrow p_i + p_c = \frac{1}{\eta} \alpha P_n \cos \theta - \alpha P_n \cos \theta \rightarrow p_i + p_c = \left(\frac{1}{\eta} - 1\right) \alpha P_n \cos \theta$$

$$p_i + p_c = \left(\frac{1}{\eta} - 1\right) \alpha P_n \cos \theta = \left(\frac{1}{0.982} - 1\right) \times \frac{3}{4} \times 50 \text{k} \times 1$$

$$2p_i = 0.687 \text{ kW} \rightarrow p_i = 0.344 \text{ kW} = 344 \text{ W}$$

(b) この変圧器を全負荷、力率100 [%]で運転したときの銅損 [W]の値として、最も近いのは次のうちどれか。

- (1) 325    (2) 453    (3) 579    (4) 611    (5) 712

定格銅損 $p_{cn}$ は

$$p_c = \alpha^2 p_{cn} \rightarrow p_{cn} = \frac{1}{\alpha^2} p_c = \frac{1}{(3/4)^2} \times 344 = 611.6 \text{ W}$$

# H20 問16

定格容量50 [kV・A]の単相変圧器がある。この変圧器を定格電圧、力率100 [%]、全負荷の3/4の負荷で運転したとき、鉄損と銅損が等しくなり、そのときの効率は98.2 [%]であった。この変圧器について、次の(a)及び(b)に答えよ。

(a) この変圧器の銅損[W]の値として、最も近いのは次のうちどれか。

- (1) 344    (2) 382    (3) 425    (4) 472    (5) 536

(b) この変圧器を全負荷、力率100 [%]で運転したときの銅損 [W]の値として、最も近いのは次のうちどれか。

- (1) 325    (2) 453    (3) 579    (4) 611    (5) 712

# H13 問6

ある単相変圧器の負荷が、全負荷の1/2のときに効率が最大になるという。この変圧器の負荷が全負荷の3/4のときの銅損 $P_c$ と鉄損 $P_i$ の比 $P_c/P_i$ の値として、正しいのは次のうちどれか。ただし、二次電圧及び負荷力率は一定とする。

- (1) 0.56    (2) 1.13    (3) 1.50    (4) 2.25    (5) 3.00

# H13 問6

ある単相変圧器の負荷が、全負荷の1/2のときに効率が最大になるという。この変圧器の負荷が全負荷の3/4のときの銅損 $P_c$ と鉄損 $P_i$ の比 $P_c/P_i$ の値として、正しいのは次のうちどれか。ただし、二次電圧及び負荷力率は一定とする。

- (1) 0.56    (2) 1.13    (3) 1.50    (4) 2.25    (5) 3.00

負荷率 $\alpha = 1/2$ で効率が鉄損 $p_i$ と銅損 $p_c$ が一致する

$$p_i = p_c$$

このときの銅損 $p_c$ と定格時の銅損 $p_{cn}$ の関係は

$$p_c = \alpha^2 p_{cn} = \left(\frac{1}{2}\right)^2 p_{cn} = \frac{1}{4} \times p_{cn}$$

$$\frac{p'_c}{p_c} = \frac{\frac{9}{16} \times p_{cn}}{\frac{1}{4} \times p_{cn}} = \frac{9}{16} \times \frac{4}{1} = \frac{9}{4}$$

負荷率 $\alpha' = 3/4$ の銅損 $p'_c$ が一致する

$$p'_c = \alpha'^2 p_{cn} = \left(\frac{3}{4}\right)^2 p_{cn} = \frac{9}{16} \times p_{cn}$$

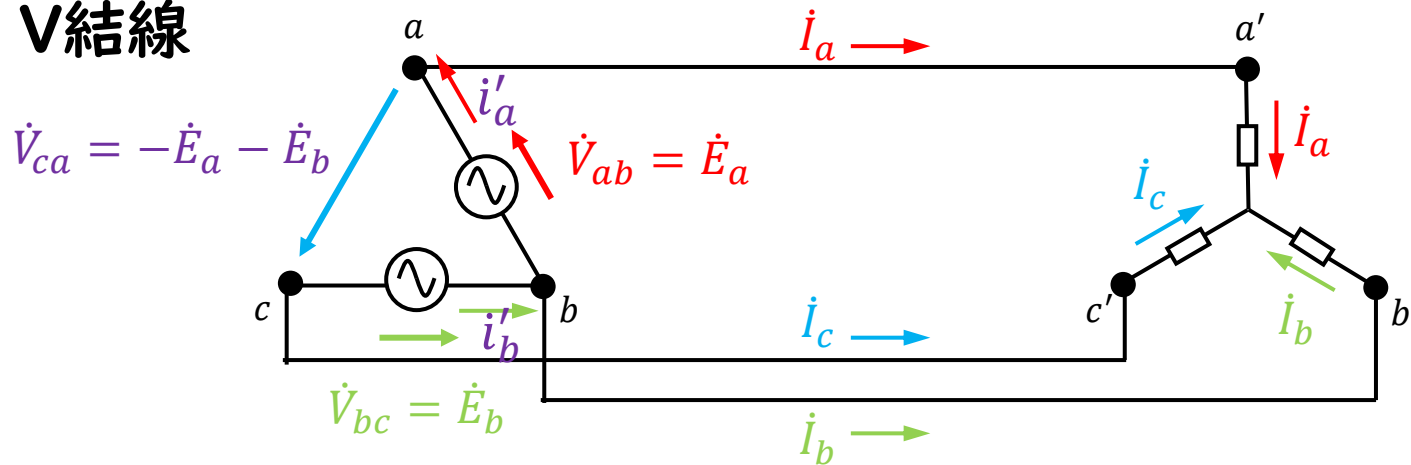
ここで $p_i = p_c$ より

$$\frac{p'_c}{p_c} = \frac{p'_c}{p_i} = \frac{9}{4} = 2.25$$

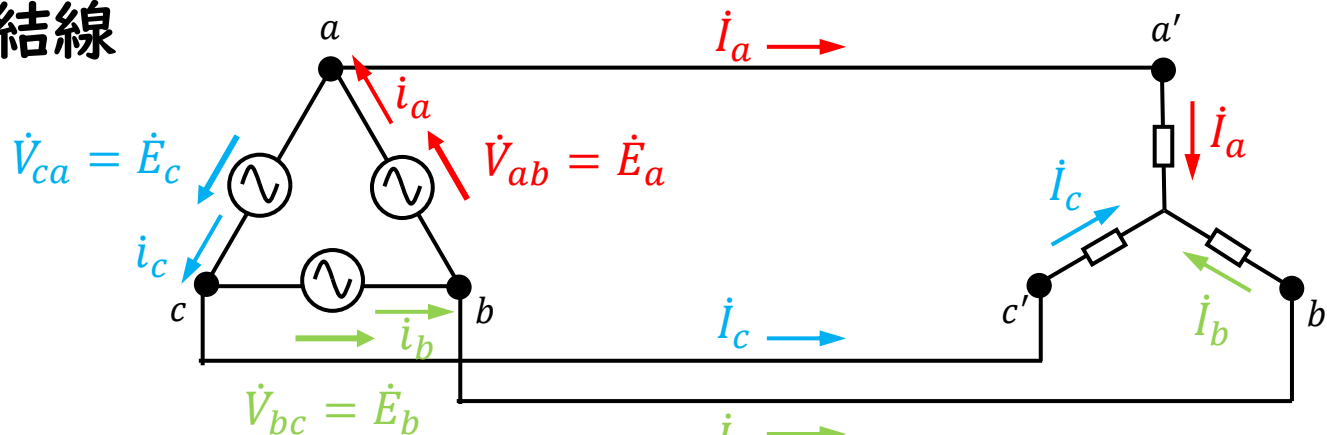
# V結線の基本特性

V結線とは2台の単相変圧器を使用し、三相交流を実現する電源の方式のこと  
三相結線のΔ結線と同様の働きをする

## V結線



## Δ結線

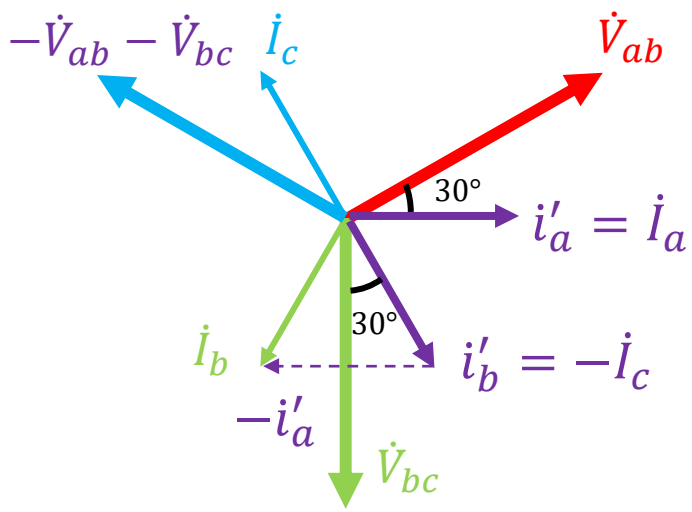
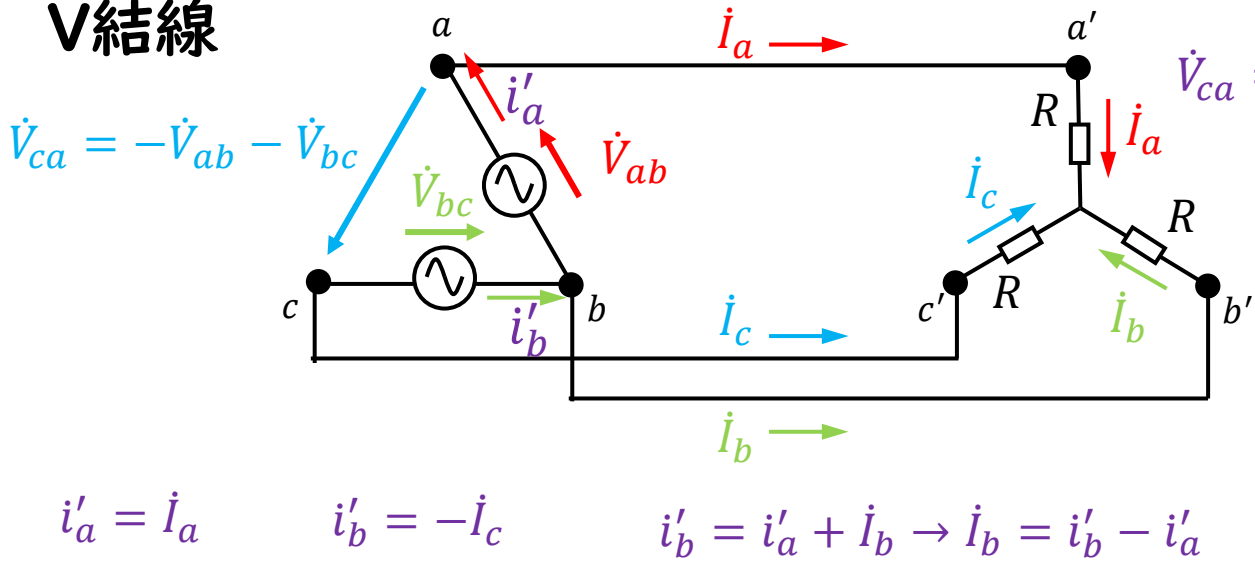


電流/電圧		V結線	Δ結線
電源側	線間電圧	同じ	同じ
	相電圧	同じ	同じ
	相電流	異なる	異なる
送電線	線電流	同じ	同じ
負荷側	線間電圧	同じ	同じ
	相電圧	同じ	同じ
	相電流	同じ	同じ

電力	V結線	Δ結線
変圧器の数	2個	3個
変圧器の合計容量 $S$	$2E_a I_a$	$3E_a i_a$
最大出力 $P_{max}$	$\sqrt{3}E_a I_a$	$3E_a i_a$
利用率 $P_{max}/S \times 100[\%]$	86.5 %	100 %

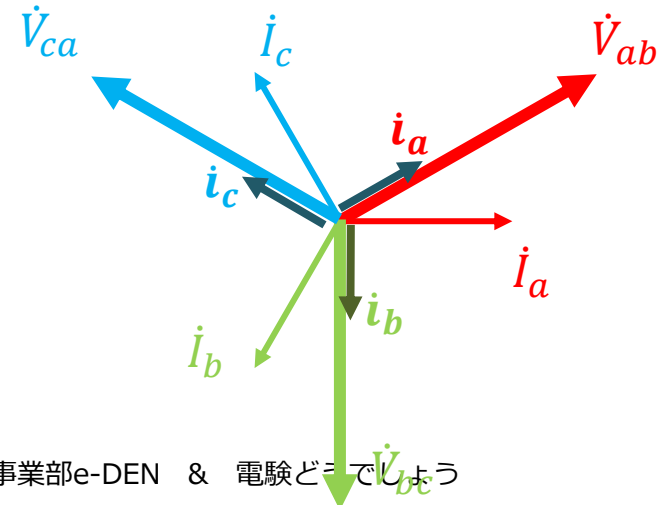
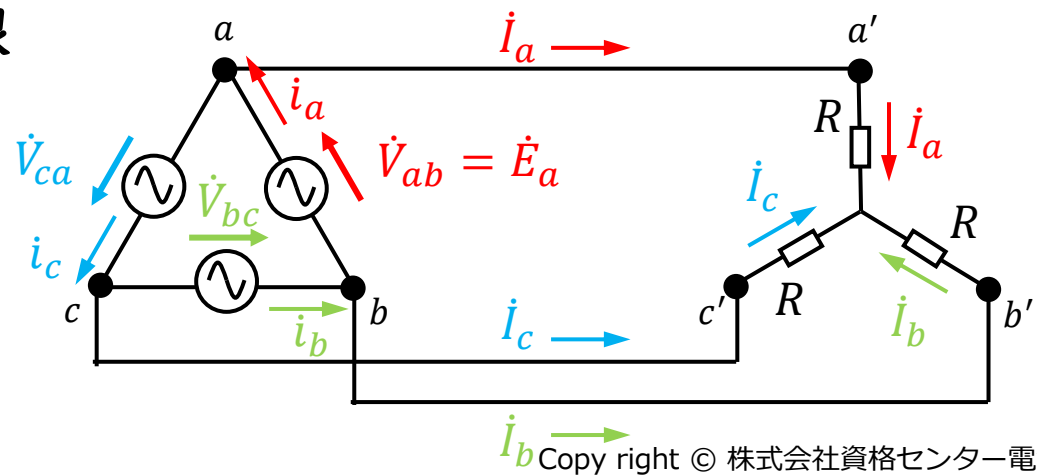
# V結線のベクトル図

## V結線



電源側相電圧と相電流の間に30°の位相差があるため  
 最大出力は $\sqrt{3}S$   
 (Sは変圧器1台の電力容量)  
 $S = V_{ab}I_a, P = S \cos 30^\circ$   
 $P_{max} = 2P = 2S \cos 30^\circ$   
 $= 2S \times \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3}S$   
 $\therefore P_{max} = \sqrt{3}S$

## Δ結線



電源側相電圧と相電流の間に位相差はなく  
 最大出力は3S  
 (Sは変圧器1台の電力容量)  
 $S = V_{ab}i_a, P = S$   
 $\therefore P_{max} = 3S$

# H16 問8

定格容量100 [kV・A]、定格一次電圧6.3[kV]で特性の等しい単相変圧器が2台あり、各変圧器の定格負荷時の負荷損は1600[W]である。この変圧器2台をV-V結線し、一次電圧6.3[kV]にて90[kW]の三相平衡負荷をかけたとき、2台の変圧器の負荷損の合計値[W]として、最も近いのは次のうちどれか。ただし、負荷の力率は1とする。

- (1) 324    (2) 432    (3) 648    (4) 864    (5) 1440

# 導出のポイント

定格容量100 [kV・A]、定格一次電圧6.3[kV]で特性の等しい単相変圧器が2台あり、各変圧器の定格負荷時の負荷損は1600[W]である。この変圧器2台をV-V結線し、一次電圧6.3[kV]にて90[kW]の三相平衡負荷をかけたとき、2台の変圧器の負荷損の合計値[W]として、最も近いのは次のうちどれか。ただし、負荷の力率は1とする。

- (1) 324    (2) 432    (3) 648    (4) 864    (5) 1440

負荷に供給する電力 $P_L$ は $P_L = 90 \text{ kW}$

変圧器2台が負担する皮相電力 $S_L$ は

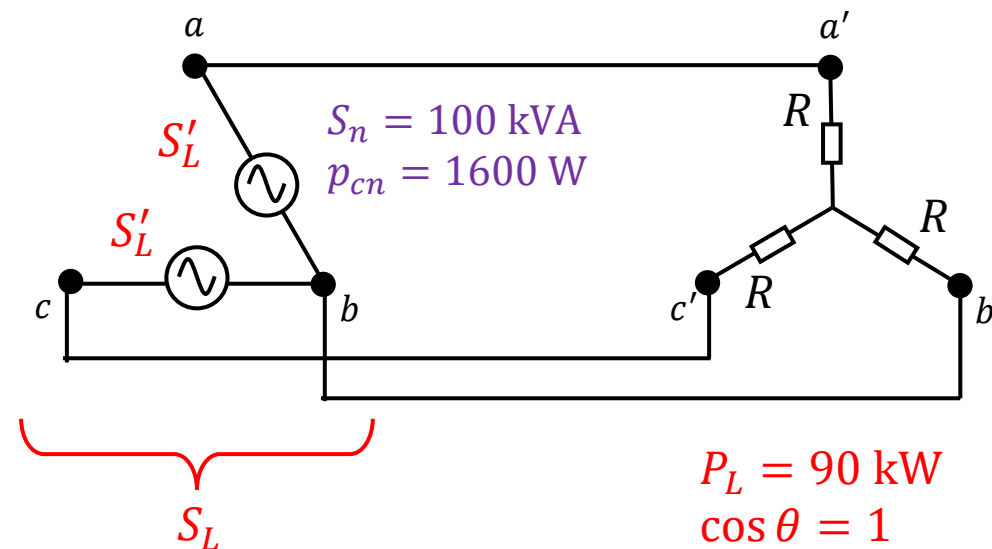
$$P_L = \frac{\sqrt{3}}{2} S_L \rightarrow S_L = \frac{2}{\sqrt{3}} P_L = \frac{2}{\sqrt{3}} \times 90 = 103.92 \text{ kVA}$$

変圧器1台あたりが負担する皮相電力 $S'_L$ は

$$S'_L = \frac{1}{2} S_L = \frac{1}{2} \times 103.92 \text{ kVA} = 51.96 \text{ kVA}$$

変圧器1台の負荷率 $\alpha$ は

$$\alpha = \frac{S'_L}{S_n} = \frac{51.96}{100} = 0.5196$$



このときの変圧器1台の負荷損（銅損）は  
 $p_c = \alpha^2 p_{cn} = 0.5196^2 \times 1600 = 432 \text{ W}$

2台分の負荷損は  
 $2p_c = 2 \times 432 = 864 \text{ W}$

# H15 問16

単相変圧器があり、負荷 86 [kW]、力率1.0で使用したときに最大効率98.7[%]が得られる。この変圧器について、次の(a)及び(b)に答えよ。

(a) この変圧器の無負荷損[W]の値として、最も近いのは次のうちどれか。

- (1) 466    (2) 566    (3) 667    (4) 850    (5) 1133

(b) この変圧器を負荷20[kW]、力率1.0で使用したときの効率[%]の値として、最も近いのは次のうちどれか。

- (1) 94.4    (2) 95.7    (3) 96.6    (4) 97.1    (5) 97.6

# 導出のポイント

単相変圧器があり、負荷 86 [kW]、力率1.0で使用したときに最大効率98.7[%]が得られる。この変圧器について、次の(a)及び(b)に答えよ。

(a) この変圧器の無負荷損[W]の値として、最も近いのは次のうちどれか。

- (1) 466    (2) 566    (3) 667    (4) 850    (5) 1133

※定格容量は分からないので負荷86 kWを基準とする

負荷86 kWで最大効率となることから鉄損 $p_i$ と銅損 $p_c$ が一致する

$$p_i = p_c$$

負荷86 kWの効率 $\eta$ より鉄損（無負荷損） $p_i$ を求める

$$\eta = \frac{P_n \cos \theta}{P_n \cos \theta + p_i + p_c} = \frac{P_n \cos \theta}{P_n \cos \theta + 2p_i} \rightarrow 2p_i = \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right) P_n \cos \theta$$

$$p_i = \frac{1}{2} \times \left( \frac{1}{0.987} - 1 \right) \times 86 \text{k} \times 1 = 0.566 \text{ kW}$$

# 導出のポイント

単相変圧器があり、負荷 86 [kW]、力率1.0で使用したときに最大効率98.7[%]が得られる。この変圧器について、次の(a)及び(b)に答えよ。

(b) この変圧器を負荷20[kW]、力率1.0で使用したときの効率[%]の値として、最も近いのは次のうちどれか。

- (1) 94.4    (2) 95.7    (3) 96.6    (4) 97.1    (5) 97.6

負荷率 $\alpha$ は

$$\alpha = \frac{20 \text{ kW}}{86 \text{ kW}} = 0.2326$$

※定格容量は分からないので負荷86 kWを基準とする

負荷20 kWの効率 $\eta'$ は

$$\begin{aligned}\eta' &= \frac{\alpha P_n \cos \theta}{\alpha P_n \cos \theta + p_i + \alpha^2 p_c} \\ &= \frac{20 \text{ kW}}{20 \text{ kW} + 0.566 \text{ kW} + 0.2326^2 \times 0.566 \text{ kW}} \\ &= 0.971 \rightarrow 97.1 \%\end{aligned}$$

# H15 問16

単相変圧器があり、負荷 86 [kW]、力率1.0で使用したときに最大効率98.7[%]が得られる。この変圧器について、次の(a)及び(b)に答えよ。

(a) この変圧器の無負荷損[W]の値として、最も近いのは次のうちどれか。

- (1) 466    (2) 566    (3) 667    (4) 850    (5) 1133

(b) この変圧器を負荷20[kW]、力率1.0で使用したときの効率[%]の値として、最も近いのは次のうちどれか。

- (1) 94.4    (2) 95.7    (3) 96.6    (4) 97.1    (5) 97.6

ご聴講ありがとうございました!!