

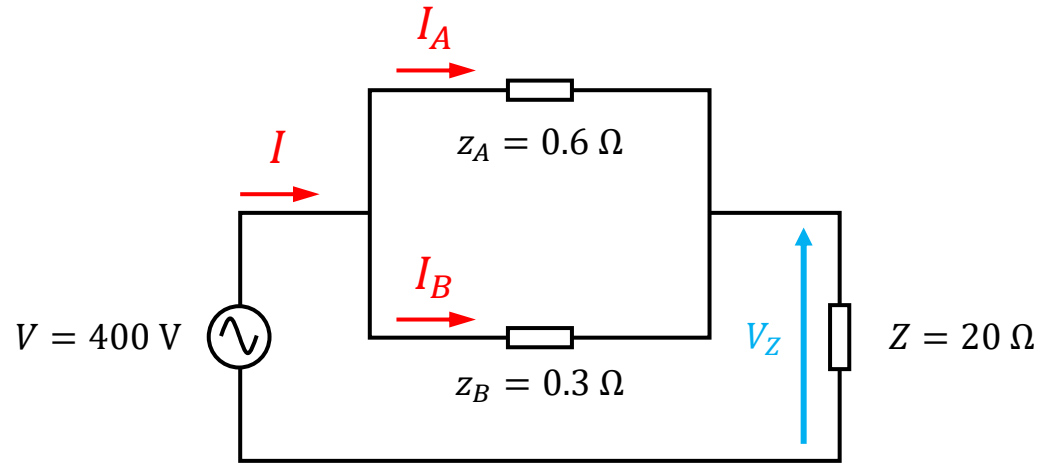
電験どうでしょう管理人  
*KWG presents*

電験オンライン塾

第6回  
変圧器の並列運転

2022.02.26 Sat

# 演習問題 I



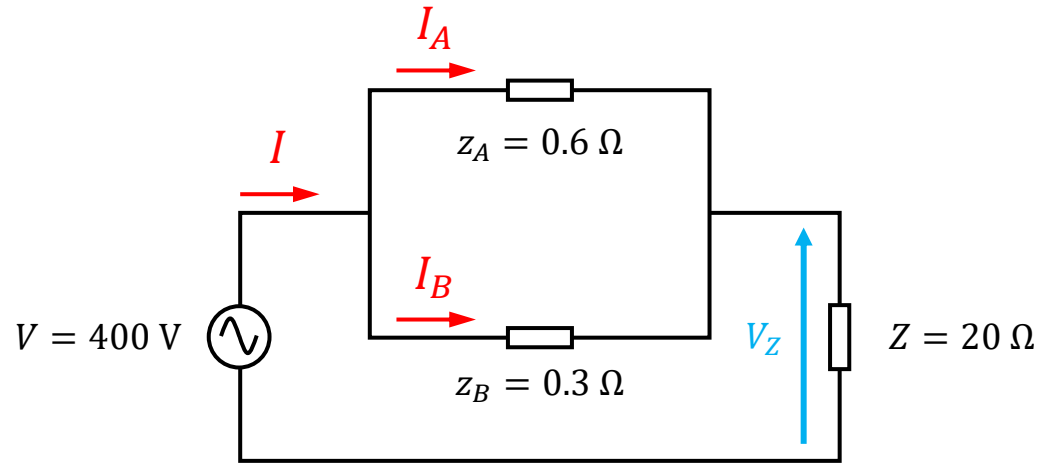
(1) 電流 $I$ を求めよ。

(2) 負荷で発生する電圧降下 $V_Z$ を求めよ。

(3) 負荷で発生する電力 $S$ を求めよ。

(4) 電流 $I_A, I_B$ を求めよ。

# 演習問題 I



(1) 電流  $I$  を求めよ。

$$Z_{all} = \frac{z_A \cdot z_B}{z_A + z_B} + Z = \frac{0.6 \cdot 0.3}{0.6 + 0.3} + 20 = 20.2\ \Omega$$

$$I = \frac{V}{Z_{all}} = \frac{400}{20.2} = 19.8\ \text{A}$$

(2) 負荷で発生する電圧降下  $V_Z$  を求めよ。

$$V_Z = ZI = 20 \times 19.8 = 396\ \text{V}$$

(3) 負荷で発生する電力  $S$  を求めよ。

$$S = V_Z I = 396 \times 19.8 = 7842\ \text{VA}$$

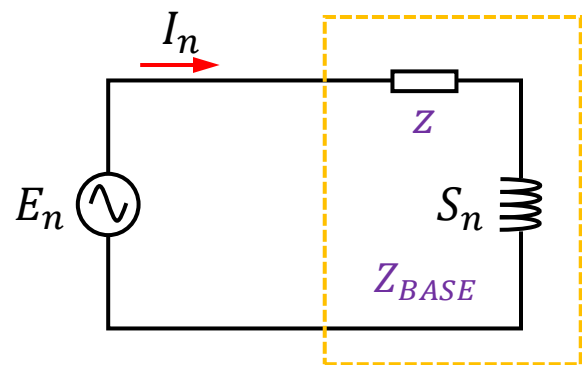
(4) 電流  $I_A, I_B$  を求めよ。

$$I_A = \frac{z_B}{z_A + z_B} I = \frac{0.3}{0.3 + 0.6} \times 19.8 = 6.6\ \text{A}$$

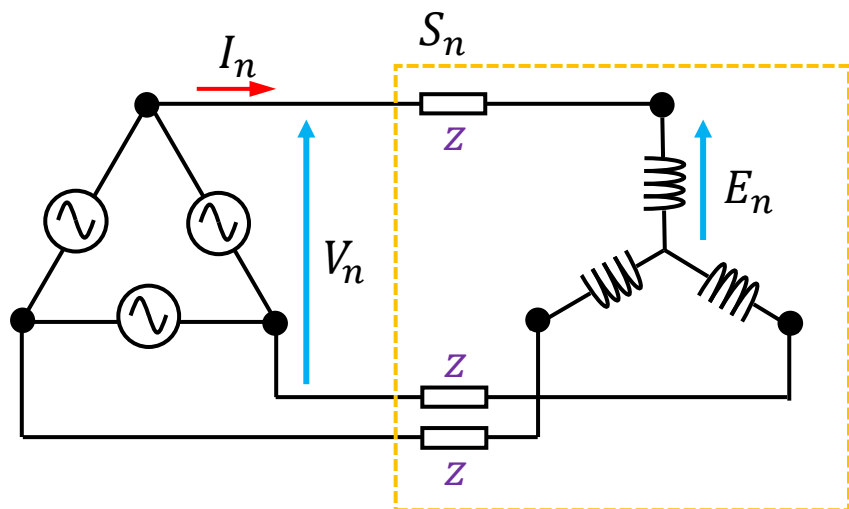
$$I_B = \frac{z_A}{z_A + z_B} I = \frac{0.6}{0.3 + 0.6} \times 19.8 = 13.2\ \text{A}$$

# パーセントインピーダンス法

変圧器の電力容量、端子電圧から得られる**基準インピーダンス**により、**内部インピーダンスの影響**の程度を表す指標



変圧器



変圧器  
(Y結線と考える)

単相交流  
の場合

基準インピーダンス

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

パーセントインピーダンス

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

三相交流  
の場合

基準インピーダンス

$$Z_{BASE} = \frac{\text{定格電圧 (相電圧)}}{\text{定格電流}} = \frac{E_n}{I_n} = \frac{V_n}{\sqrt{3}I_n} = \frac{V_n \times V_n}{\sqrt{3}I_n \times V_n} = \frac{V_n^2}{S_n}$$

パーセントインピーダンス

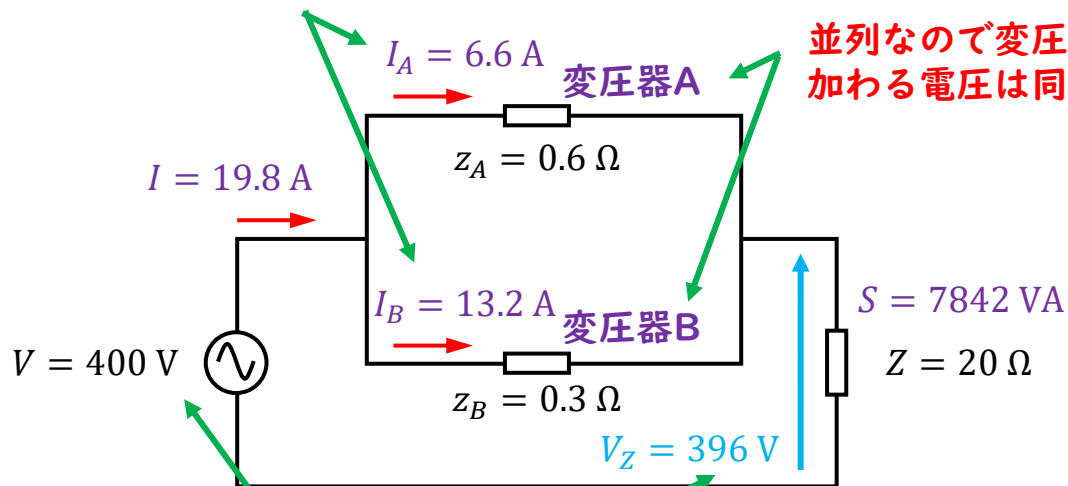
$$\%Z = \frac{z}{Z_{BASE}} \times 100 [\%] = z \times \frac{S_n}{V_n^2} \times 100 = z \times \frac{\sqrt{3}I_n}{V_n} \times 100$$

パーセントインピーダンスの換算

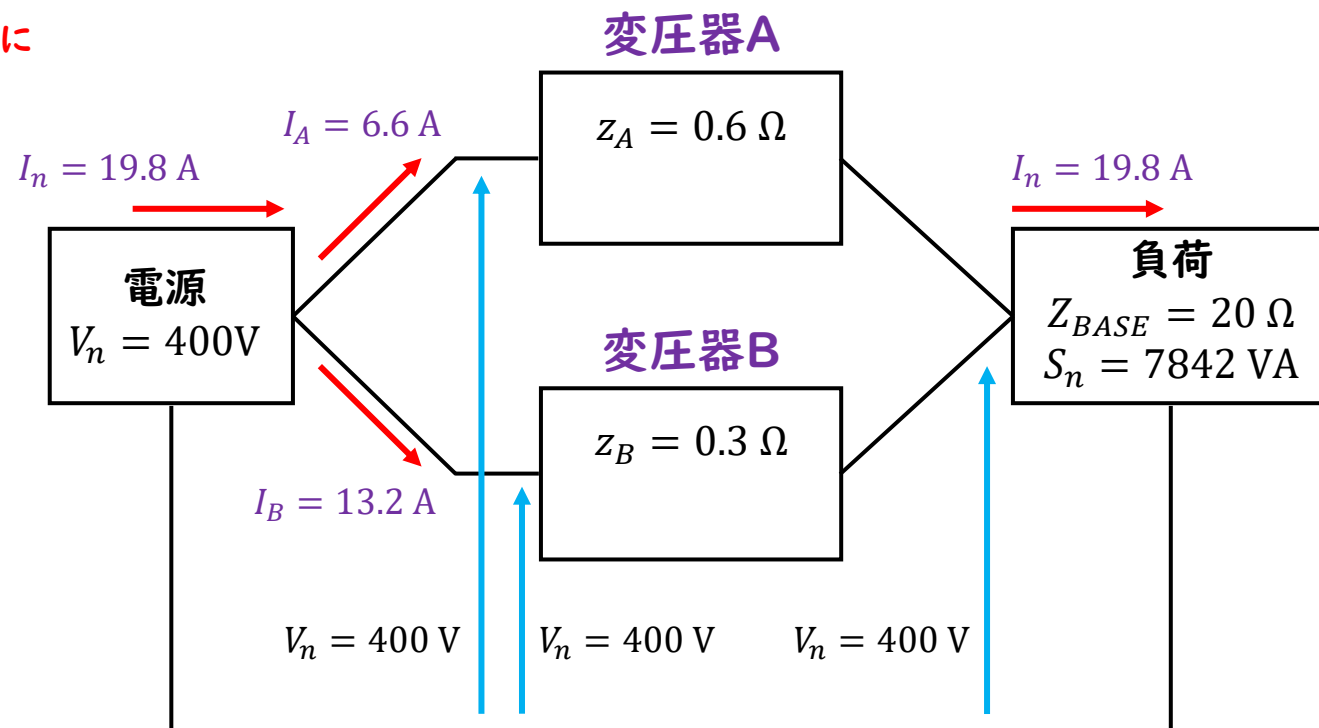
$$\therefore \%Z' = \frac{S'_n}{S_n} \times \%Z$$

# 変圧器の並列運転

変圧器のインピーダンスが小さくても、  
各変圧器の電流はインピーダンスの逆比で決まる



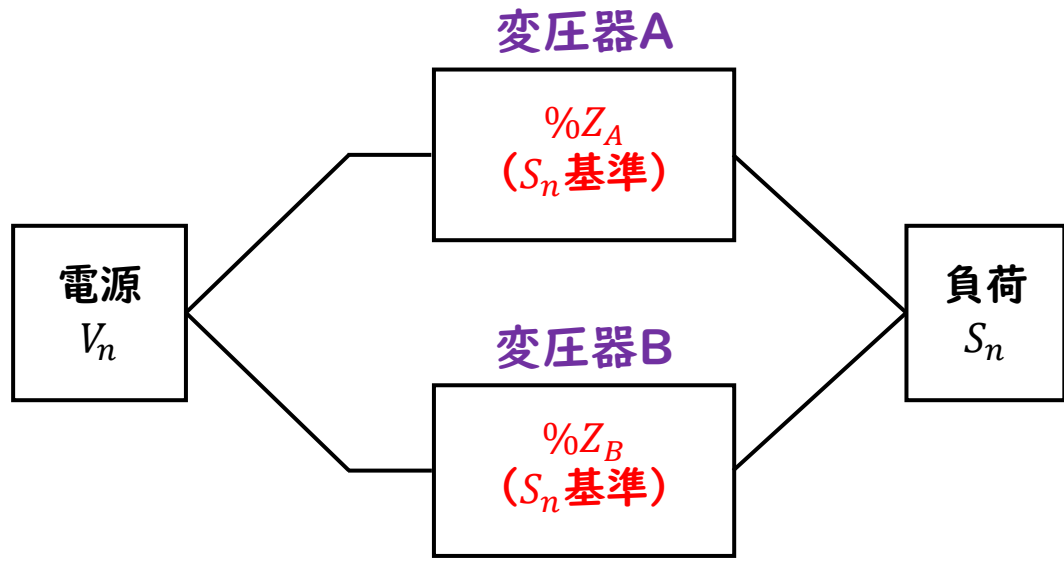
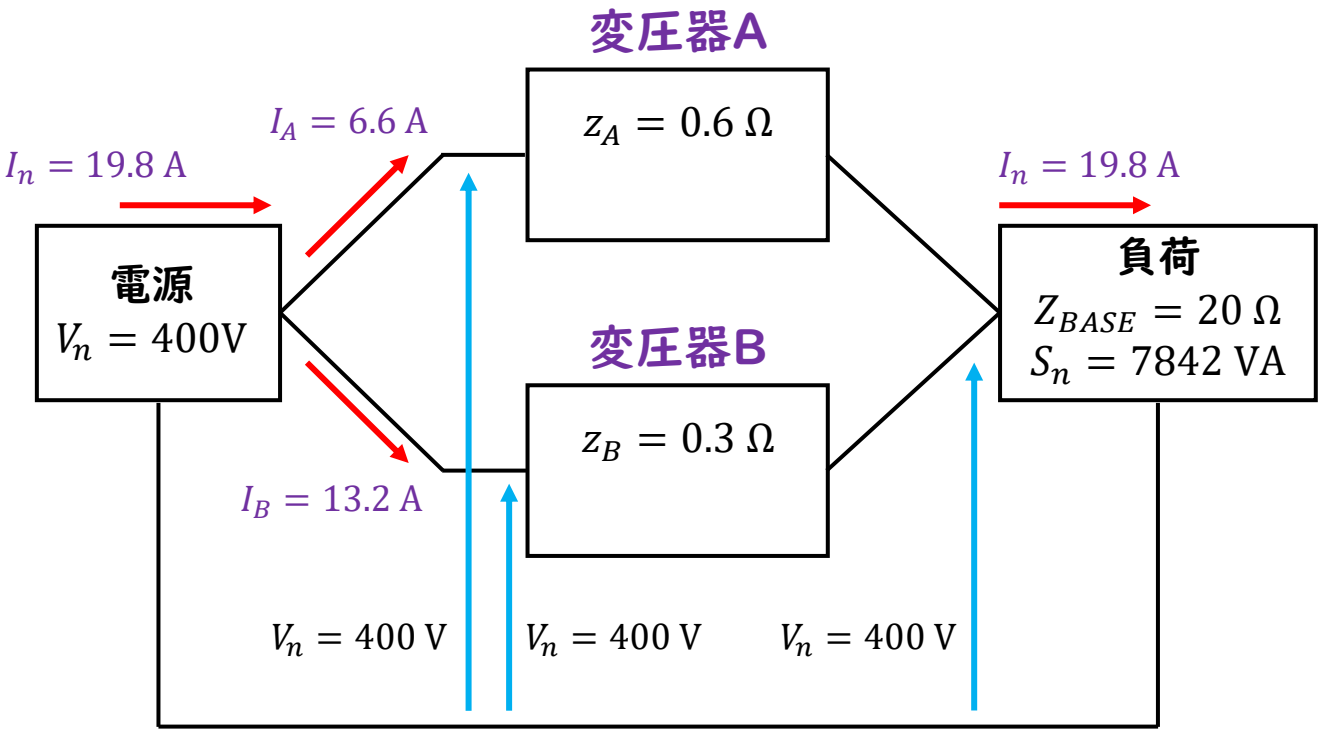
負荷のインピーダンスに比べて、  
負荷のインピーダンスは大きいので、  
電源電圧 $V$ と負荷の電圧 $V_Z$ はほぼ同じ



$$\%Z_A = \frac{z_A}{Z_{BASE}} \times 100 = z_A \times \frac{S_n}{V_n^2} \times 100$$

$$\%Z_B = \frac{z_B}{Z_{BASE}} \times 100 = z_B \times \frac{S_n}{V_n^2} \times 100$$

# 変圧器の並列運転



これだけの情報があれば全て計算できる  
 ※ただし、基準容量 $S_n$ は揃える必要がある

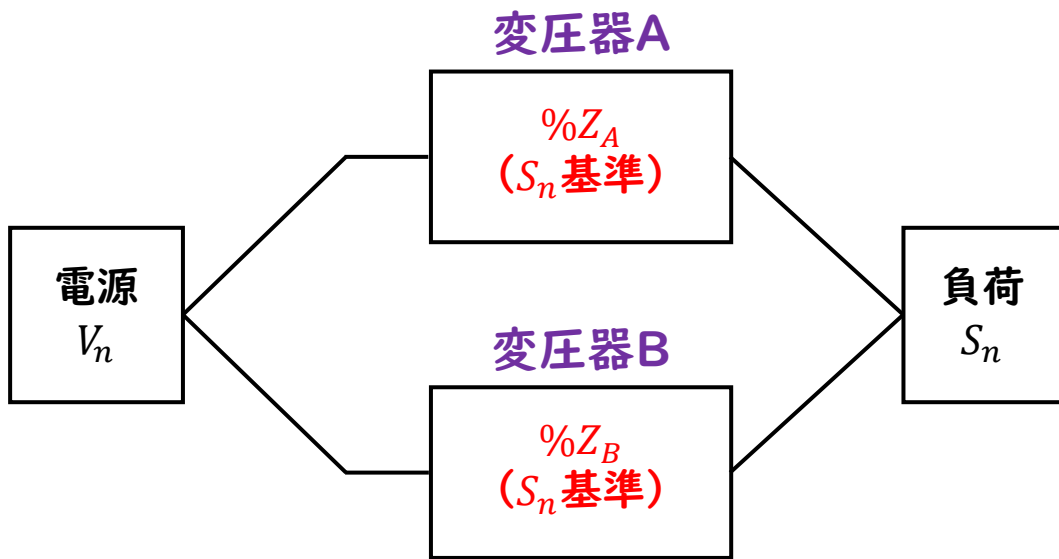
$S_n, V_n \rightarrow$  定格電流 $I_n$ , 基準インピーダンス $Z_{BASE}$

$S_n, V_n, \%Z_A, \%Z_B \rightarrow$  電流 $I_A, I_B$ , 変圧器容量 $S_A, S_B$   
 変圧器インピーダンス $Z_A, Z_B$

$$\%Z_A = \frac{z_A}{Z_{BASE}} \times 100 = z_A \times \frac{S_n}{V_n^2} \times 100$$

$$\%Z_B = \frac{z_B}{Z_{BASE}} \times 100 = z_B \times \frac{S_n}{V_n^2} \times 100$$

# 変圧器の並列運転



これだけの情報があれば全て計算できる  
 ※ただし、基準容量 $S_n$ は揃える必要がある

$S_n, V_n \rightarrow$  定格電流 $I_n$ , 基準インピーダンス $Z_{BASE}$

$S_n, V_n, \%Z_A, \%Z_B \rightarrow$  電流 $I_A, I_B$ , 変圧器容量 $S_A, S_B$   
 変圧器インピーダンス $Z_A, Z_B$

$$I_n = \frac{S_n}{V_n} \text{ (单相の場合)}, I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3}V_n} \text{ (三相の場合)} \quad Z_{BASE} = \frac{V_n^2}{S_n}$$

$$\%Z_A = \frac{Z_A}{Z_{BASE}} \rightarrow Z_A = Z_{BASE} \times \frac{\%Z_A}{100} = \frac{V_n^2}{S_n} \times \frac{\%Z_A}{100}$$

$$\%Z_B = \frac{Z_B}{Z_{BASE}} \rightarrow Z_B = Z_{BASE} \times \frac{\%Z_B}{100} = \frac{V_n^2}{S_n} \times \frac{\%Z_B}{100}$$

$$I_A = \frac{Z_B}{Z_A + Z_B} I_n = \frac{Z_B}{Z_A + Z_B} \times \frac{1/Z_{BASE}}{1/Z_{BASE}} I_n = \frac{Z_B/Z_{BASE}}{Z_A/Z_{BASE} + Z_B/Z_{BASE}} I_n$$

$$I_A = \frac{\%Z_B}{\%Z_A + \%Z_B} I_n \quad I_B = \frac{\%Z_A}{\%Z_A + \%Z_B} I_n$$

$$S_A = I_A V_n = \frac{\%Z_B}{\%Z_A + \%Z_B} I_n V_n = \frac{\%Z_B}{\%Z_A + \%Z_B} S_n$$

$$S_A = \frac{\%Z_B}{\%Z_A + \%Z_B} S_n \quad S_B = \frac{\%Z_A}{\%Z_A + \%Z_B} S_n$$

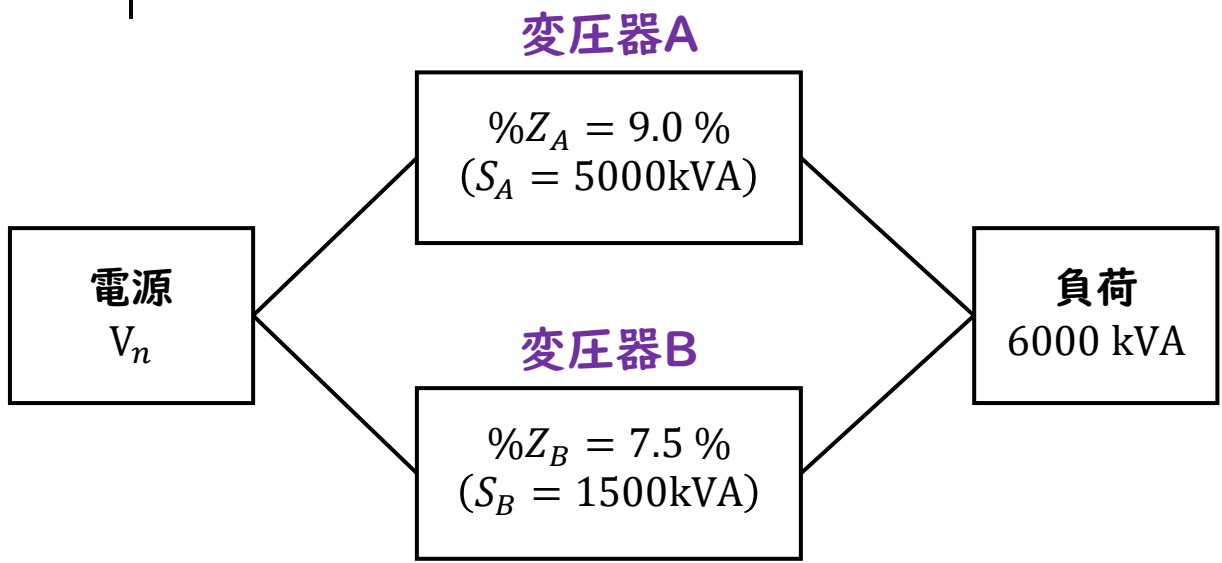
# 電力 H28 問6

問6 一次側定格電圧と二次側定格電圧がそれぞれ等しい変圧器Aと変圧器Bがある。変圧器Aは、定格容量 $S_A=5000\text{ kV}\cdot\text{A}$ 、パーセントインピーダンス $\%Z_A=9.0\%$ (自己容量ベース)、変圧器Bは、定格容量 $S_B=1500\text{ kV}\cdot\text{A}$ 、パーセントインピーダンス $\%Z_B=7.5\%$ (自己容量ベース)である。この変圧器2台を並行運転し、 $6000\text{ kV}\cdot\text{A}$ の負荷に供給する場合、過負荷となる変圧器とその変圧器の過負荷運転状態[%](当該変圧器が負担する負荷の大きさをその定格容量に対する百分率で表した値)の組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

	過負荷となる変圧器	過負荷運転状態[%]
(1)	変圧器A	101.5
(2)	変圧器B	105.9
(3)	変圧器A	118.2
(4)	変圧器B	137.5
(5)	変圧器A	173.5



# 導出のポイント



基準容量を6000 kVAとし $\%Z'_A, \%Z'_B$ を求める

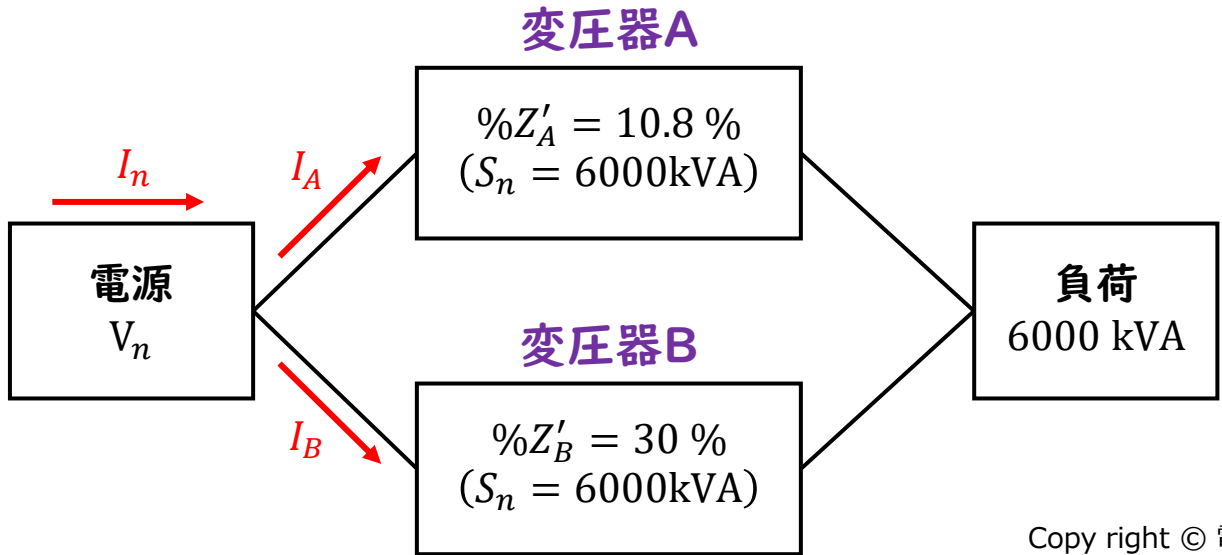
$$\%Z'_A = \frac{S_n}{S_A} \times \%Z_A = \frac{6000}{5000} \times 9.0 = 10.8 \%$$

$$\%Z'_B = \frac{S_n}{S_B} \times \%Z_B = \frac{6000}{1500} \times 7.5 = 30 \%$$

電流 $I_A, I_B$ を求める

$$I_A = \frac{\%Z'_B}{\%Z'_A + \%Z'_B} I_n = \frac{30}{10.8 + 30} I_n = 0.735 I_n$$

$$I_B = \frac{\%Z'_A}{\%Z'_A + \%Z'_B} I_n = \frac{10.8}{10.8 + 30} I_n = 0.265 I_n$$



変圧器AとBが担う電力 $S'_A, S'_B$ を求める

$$S'_A = 0.735 I_n V_n = 0.735 S_n = 0.735 \times 6000 \text{k} = 4410 \text{kVA}$$

$$S'_B = 0.265 I_n V_n = 0.265 S_n = 0.265 \times 6000 \text{k} = 1590 \text{kVA}$$

**過負荷**

過負荷運転の程度を求める

$$\frac{S'_B}{S_B} \times 100 = \frac{1590}{1500} \times 100 = 106 \%$$

# 電力 H28 問6

問6 一次側定格電圧と二次側定格電圧がそれぞれ等しい変圧器Aと変圧器Bがある。変圧器Aは、定格容量 $S_A=5000\text{ kV}\cdot\text{A}$ 、パーセントインピーダンス $\%Z_A=9.0\%$ (自己容量ベース)、変圧器Bは、定格容量 $S_B=1500\text{ kV}\cdot\text{A}$ 、パーセントインピーダンス $\%Z_B=7.5\%$ (自己容量ベース)である。この変圧器2台を並行運転し、 $6000\text{ kV}\cdot\text{A}$ の負荷に供給する場合、過負荷となる変圧器とその変圧器の過負荷運転状態[%](当該変圧器が負担する負荷の大きさをその定格容量に対する百分率で表した値)の組合せとして、正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

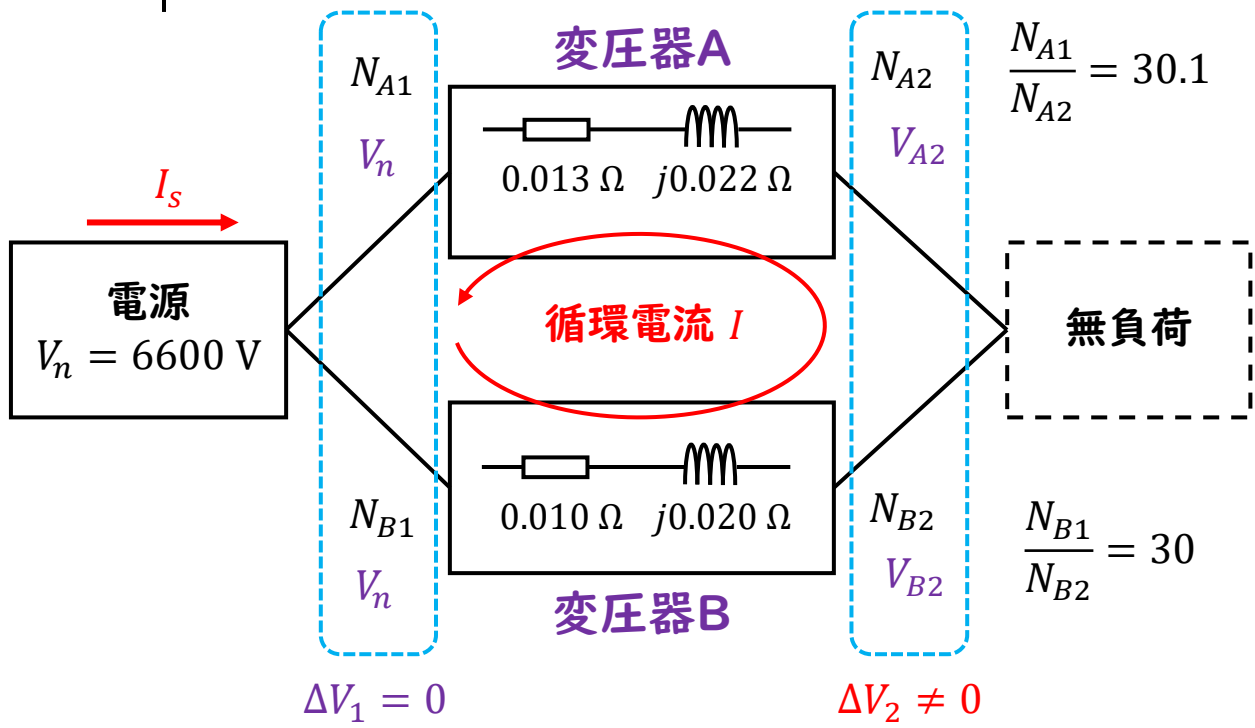
	過負荷となる変圧器	過負荷運転状態[%]
(1)	変圧器A	101.5
(2)	変圧器B	105.9
(3)	変圧器A	118.2
(4)	変圧器B	137.5
(5)	変圧器A	173.5

# 機械 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



$\Delta V_2$ を求める

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

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

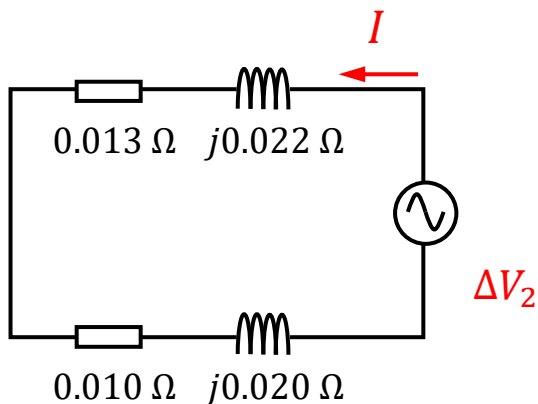
$$\Delta V_2 = V_{B2} - V_{A2} = 220 - 219.27 = 0.73 \text{ V}$$

循環電流  $I$ を求める

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

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

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



# 機械 RO1 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

# 機械 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。

# 機械 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

# 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



# 電力 H26 問6

問6 1バンクの定格容量  $25 \text{ MV}\cdot\text{A}$  の三相変圧器を3バンク有する配電用変電所がある。変圧器1バンクが故障した時に長時間の停電なしに故障発生前と同じ電力を供給したい。

この検討に当たっては、変圧器故障時には、他の変電所に故障発生前の負荷の10%を直ちに切り換えることができるとともに、残りの健全な変圧器は、定格容量の125%まで過負荷することができるものとする。

力率は常に95%（遅れ）で変化しないものとしたとき、故障発生前の変電所の最大総負荷の値 [MW] として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

- (1) 32.9      (2) 53.4      (3) 65.9      (4) 80.1      (5) 98.9

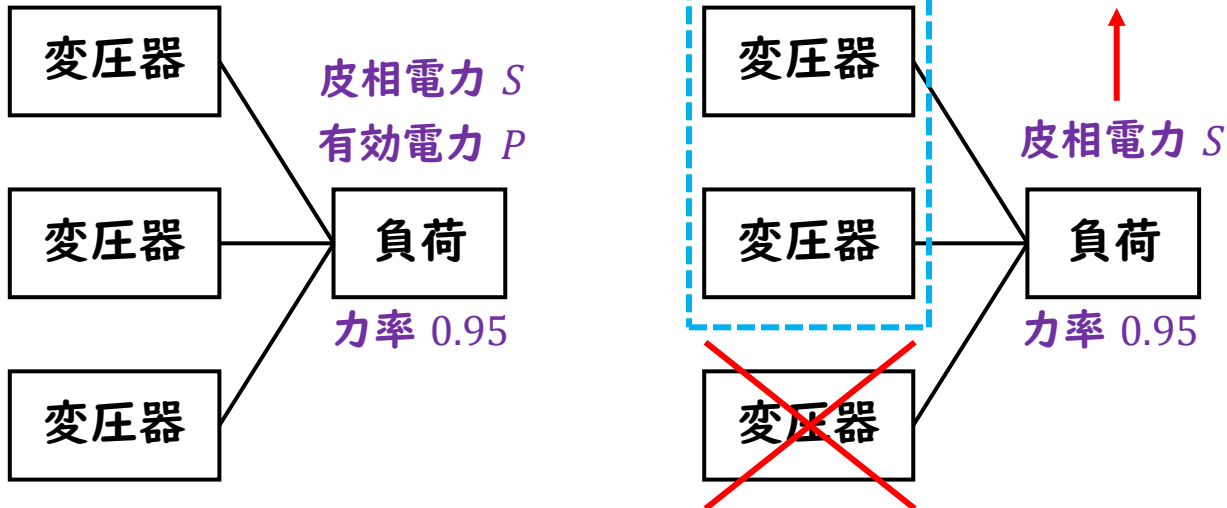
# 導出のポイント

問6 1バンクの定格容量 25 MV・A の三相変圧器を 3バンク有する配電用変電所がある。変圧器 1バンクが故障した時に長時間の停電なしに故障発生前と同じ電力を供給したい。

この検討に当たっては、変圧器故障時には、他の変電所に故障発生前の負荷の 10%を直ちに切り換えることができるとともに、残りの健全な変圧器は、定格容量の 125%まで過負荷することができるものとする。

力率は常に 95%（遅れ）で変化しないものとしたとき、故障発生前の変電所の最大総負荷の値 [MW] として、最も近いものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

$$s_n = 25\text{MVA}$$



## 最大総負荷(皮相電力) $S$ を求める

$$0.9 \times S = 2 \times s_n \times 1.25 = 2 \times 25 \text{ MVA} \times 1.25$$

$$S = \frac{2 \times 25 \times 1.25}{0.9} = 69.4 \text{ MVA}$$

## 最大総負荷(有効電力) $P$ を求める

$$P = S \cos\theta = 69.4 \times 0.95 = 65.97 \text{ MW}$$

# 電力 H26 問6

問6 1バンクの定格容量 25 MV・A の三相変圧器を 3バンク有する配電用変電所がある。変圧器 1バンクが故障した時に長時間の停電なしに故障発生前と同じ電力を供給したい。

この検討に当たっては、変圧器故障時には、他の変電所に故障発生前の負荷の 10%を直ちに切り換えることができるとともに、残りの健全な変圧器は、定格容量の 125%まで過負荷することができるものとする。

力率は常に 95% (遅れ) で変化しないものとしたとき、故障発生前の変電所の最大総負荷の値 [MW] として、最も近いものを次の (1) ~ (5) のうちから一つ選べ。

- (1) 32.9      (2) 53.4      (3) 65.9      (4) 80.1      (5) 98.9

ご聴講ありがとうございました  
ございました!!