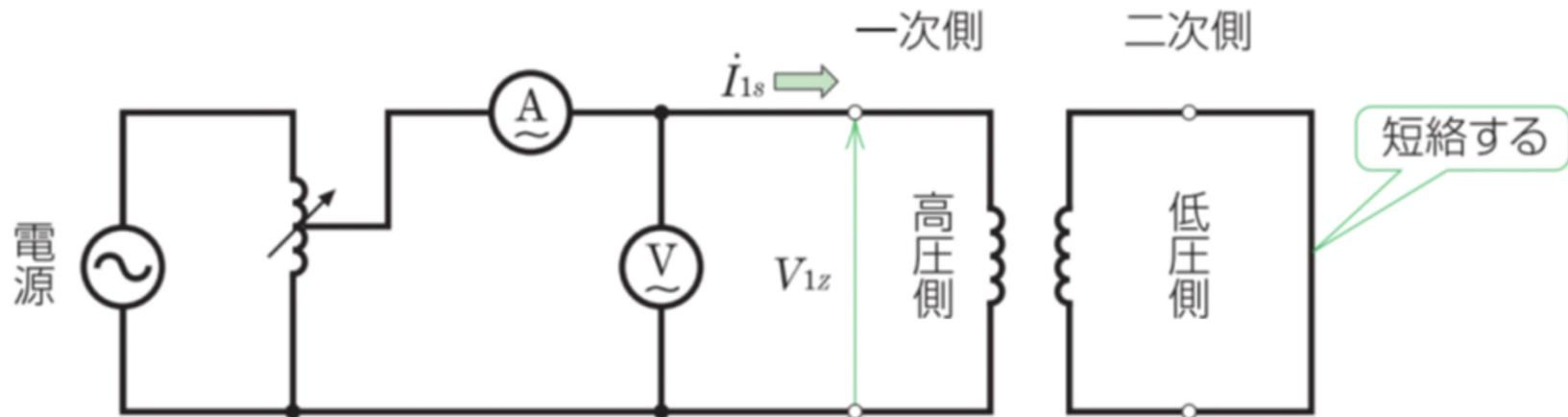


1月25日

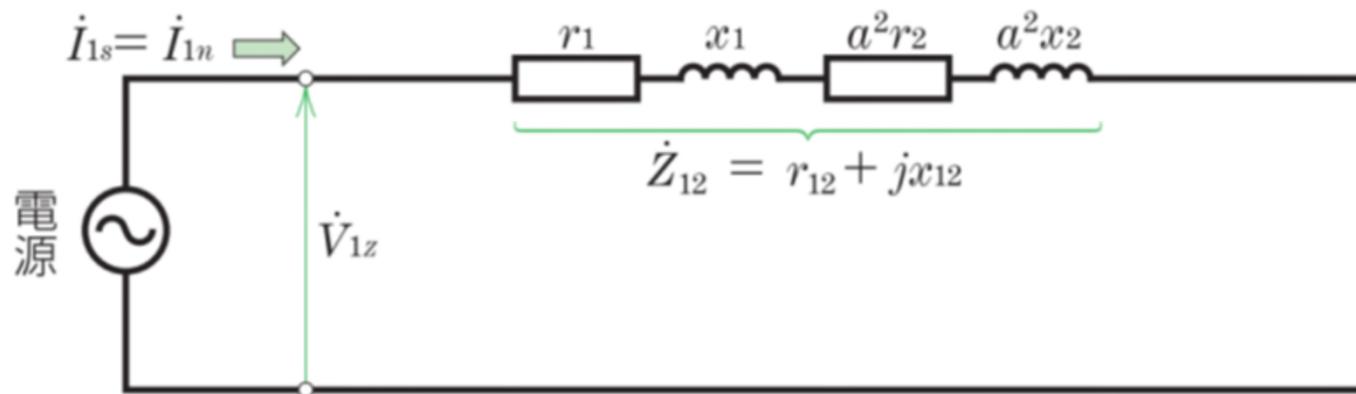
短絡インピーダンス

%Z

対策問題の3番目



(a) 短絡インピーダンス測定回路



(b) 等価回路 (二次を一次に換算)

$r_1$ と $x_1$ が  
巻数比  
 $(a \cdot a) = a^2$ で  
割られてない  
なのでこの回路  
は一次側基準

### 3

## 短絡インピーダンス

### a 短絡インピーダンス

図 4 (a)のように，変圧器の二次側（低圧側）を短絡して，一次側に定格周波数の電圧を加える。このときの一次電流  $\dot{I}_{1s}$  の大きさが，定格一次電流  $\dot{I}_{1n}$  の大きさに等しくなったときの供給電圧を  $\dot{V}_{1z}$  [V] とすると，変圧器のインピーダンスの大きさ  $Z_{12}$  [ $\Omega$ ] は，次式で表される。

$$Z_{12} = \frac{V_{1z}}{I_{1n}} \quad (8)$$

また，変圧器を定格電圧  $V_{1n}$ ，定格電流  $I_{1n}$  で運転しているとき，一次側から負荷を見た（負荷のインピーダンスを含めた）全インピーダンスのことを **基準インピーダンス** といい，次式で表される。

$$Z_n = \frac{(\text{定格電圧 [V]})^2}{\text{定格容量 [V}\cdot\text{A]}} = \frac{V_{1n}^2}{V_{1n} \cdot I_{1n}} = \frac{V_{1n}^2}{P_n} \quad (9)$$

式(8)の  $Z_{12}$  については、JIS に「基準インピーダンスに対する百分率 (%) で表す」と規定<sup>①</sup>されているので、次式で表される。

$$\%Z = \frac{\text{変圧器のインピーダンス } Z_{12} [\Omega]}{\text{基準インピーダンス } Z_n [\Omega]} \times 100 \quad (10)$$

この式(10)を **短絡インピーダンス** といい、 $\%Z [\%]$  の記号で表す。

**b** 短絡インピーダンス %Z と  $p$ ,  $q$  の関係 ■ 式(8), (9)より, 式(10)を整理すると, %Z [%] は, 次式で表される。

$$\%Z = \frac{Z_{12}}{Z_n} \times 100 = \frac{Z_{12}}{\frac{V_{1n}^2}{P_n}} \times 100 = \frac{Z_{12} \cdot P_n}{V_{1n}^2} \times 100 \quad (11)$$

また, 式(11)は, 次式でも表される。

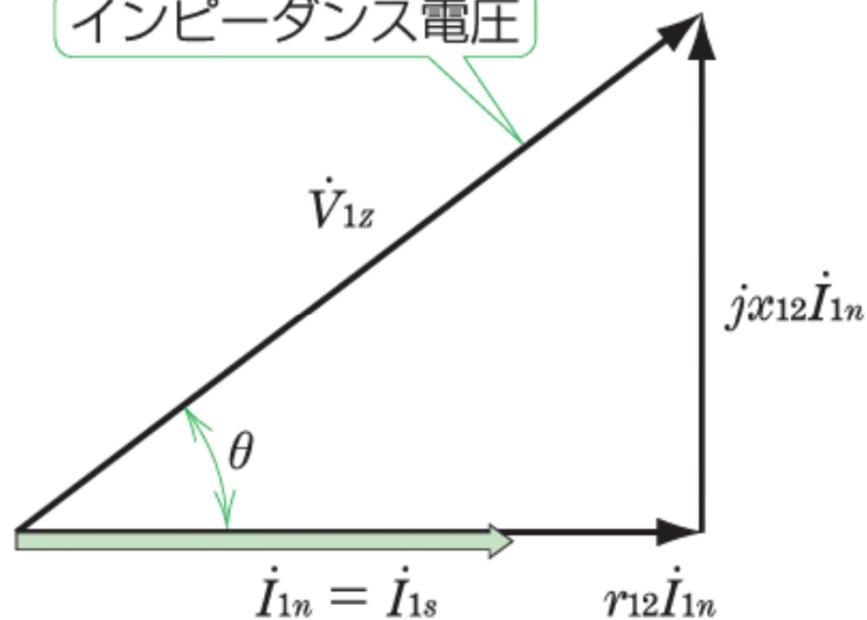
$$\%Z = \frac{V_{1Z}}{I_{1n}} \cdot \frac{V_{1n} \cdot I_{1n}}{V_{1n}^2} \times 100 = \frac{V_{1Z}}{V_{1n}} \times 100 \quad (12)$$

%Z は次のようにも表される。

$$\begin{aligned} \%Z &= \frac{V_{1z}}{V_{1n}} \times 100 = \frac{I_{1n}Z_{12}}{V_{1n}} \times 100 \\ &= \sqrt{\left(\frac{r_{12}I_{1n}}{V_{1n}} \times 100\right)^2 + \left(\frac{x_{12}I_{1n}}{V_{1n}} \times 100\right)^2} \quad (13) \\ &= \sqrt{p^2 + q^2} \end{aligned}$$

$$\dot{V}_{1z} = r_{12}I_{1n} + jx_{12}I_{1n}$$

インピーダンス電圧



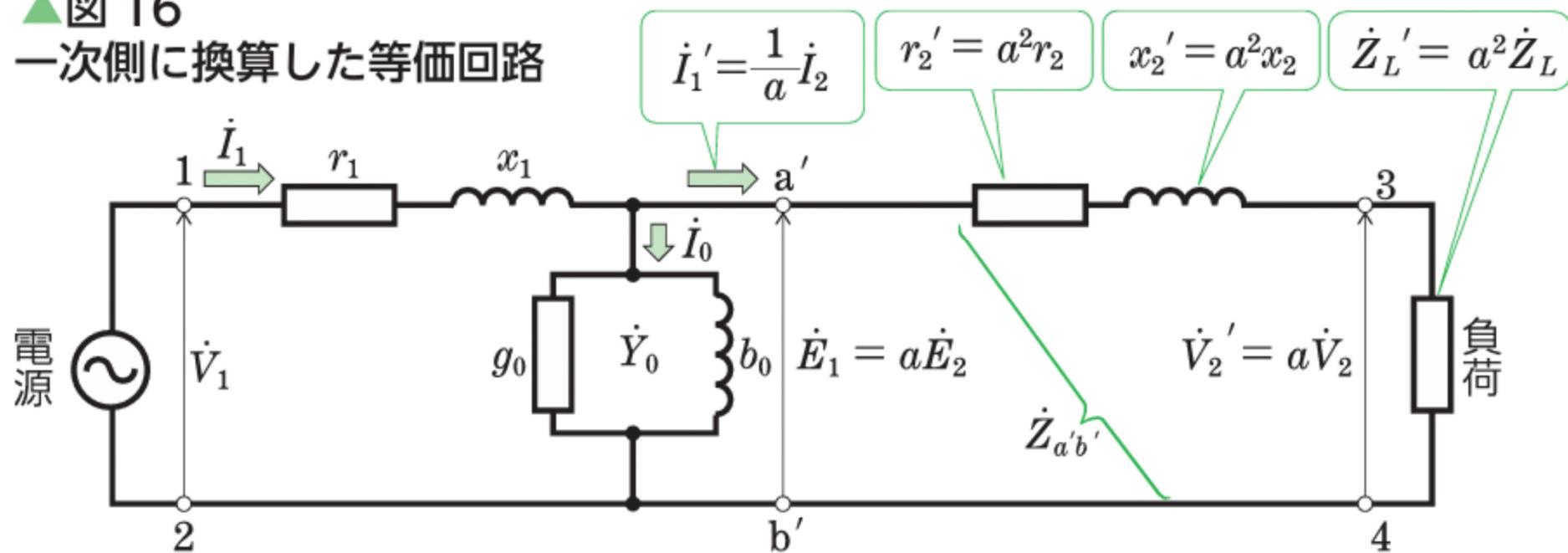
また、式(13)の  $p$ ,  $q$  は変圧器の二次側の諸量を一次側に換算した場合の値であり、p.88 の式(5)の  $p$ ,  $q$  とは等しい関係にある。

$$\begin{aligned} p &= \frac{r_{21}I_{2n}}{V_{2n}} \times 100 \\ &= \frac{r_{12}I_{1n}}{V_{1n}} \times 100 \\ q &= \frac{x_{21}I_{2n}}{V_{2n}} \times 100 \\ &= \frac{x_{12}I_{1n}}{V_{1n}} \times 100 \end{aligned}$$

1 番目を証明

$$\begin{aligned} \frac{r_{21}I_{2n}}{V_{2n}} &= \frac{\left(\frac{r_1}{a^2} + r_2\right)I_{2n}}{V_{2n}} = \frac{\frac{1}{a^2}(r_1 + a^2r_2)aI_{1n}}{\frac{1}{a}V_{1n}} \\ &= \frac{\frac{1}{a}(r_1 + a^2r_2)I_{1n}}{\frac{1}{a}V_{1n}} = \frac{r_{12}I_{1n}}{V_{1n}} \end{aligned}$$

▲図 16  
一次側に換算した等価回路



二次側の電圧は  $\alpha$  倍，電流は  $\frac{1}{\alpha}$  倍する。

二次インピーダンス，および負荷インピーダンスは  $\alpha^2$  倍する。

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = a \quad \text{より} \quad V_1 = aV_2 \quad I_1 = \frac{I_2}{a}$$

二次側の電圧値を a 倍すれば一次側に換算できる

逆に一次側の値を 1/a 倍すれば二次側に換算できる

二次側の電流値を 1/a 倍すれば一次側に換算できる

逆に一次側の値を a 倍すれば二次側に換算できる

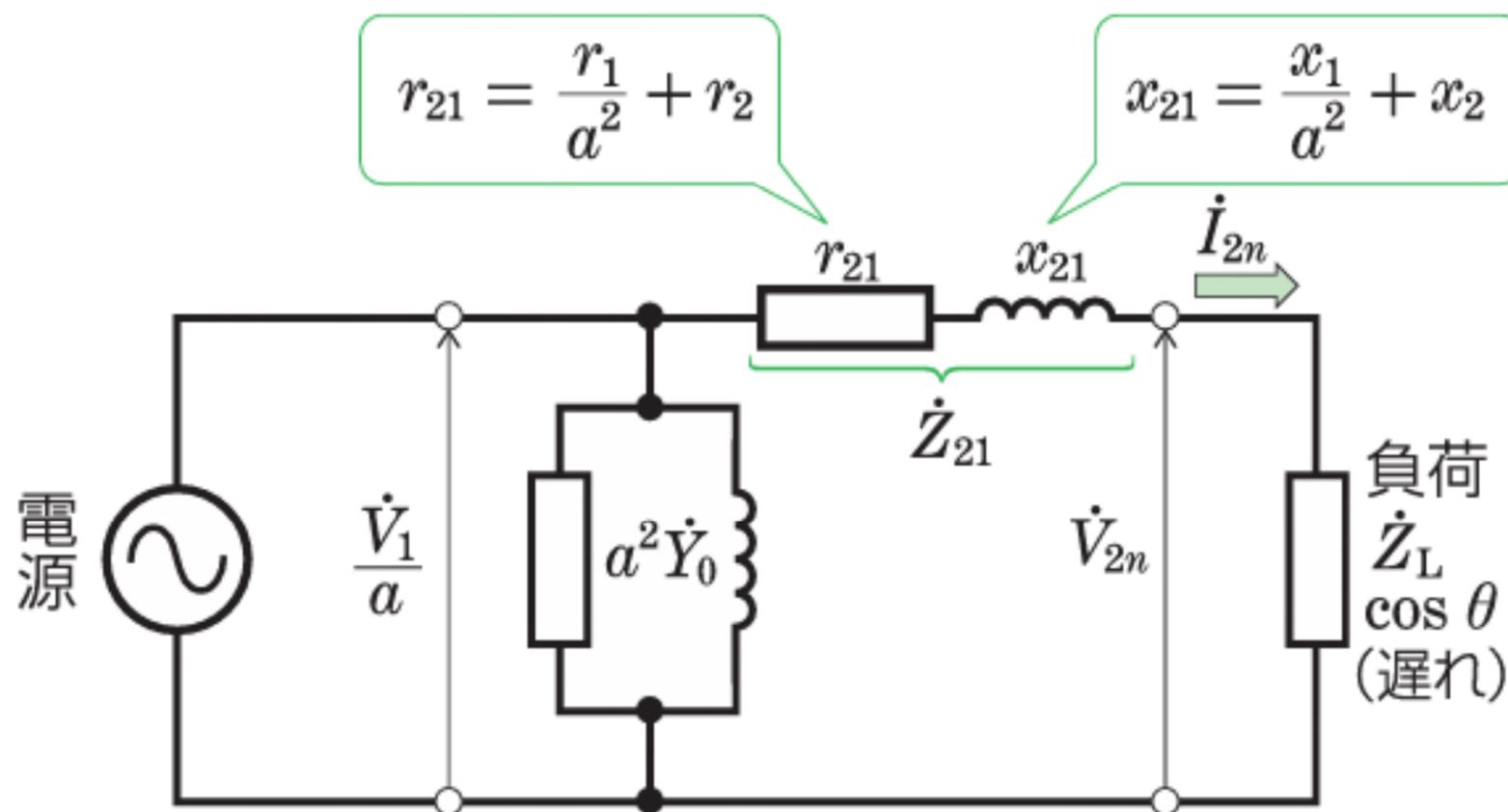
$$r_1 = \frac{V_1}{I_1} = \frac{aV_2}{\frac{I_2}{a}} = a^2 \frac{V_2}{I_2} = a^2 r_2$$

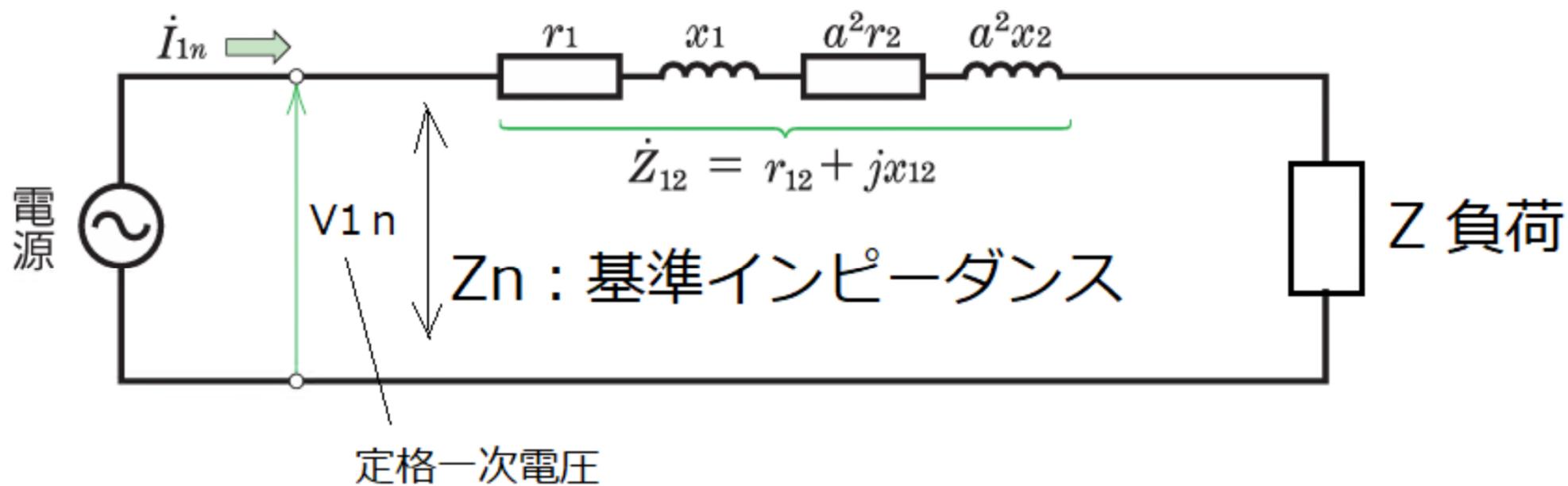
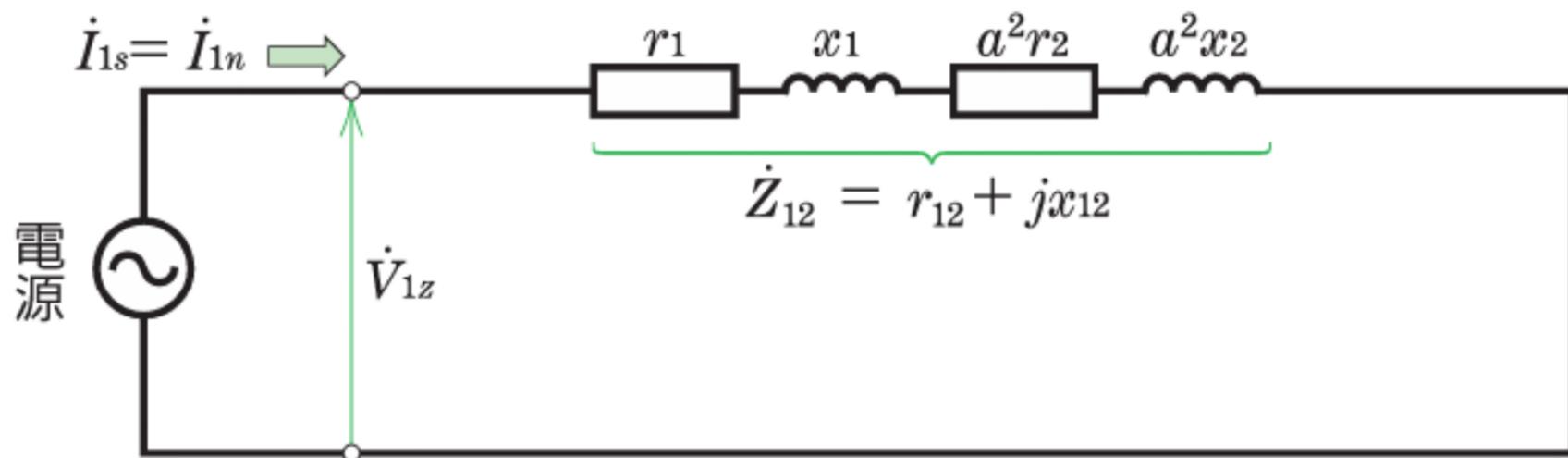
$$x_1 = \frac{V_1}{I_1} = \frac{aV_2}{\frac{I_2}{a}} = a^2 \frac{V_2}{I_2} = a^2 x_2$$

二次側の値を  $a^2$  倍すれば一次側に換算できる

逆に一次側の値を  $1/a^2$  倍すれば二次側に換算できる

▲ 図 2 一次側を二次側に換算した簡易等価回路





## 短絡インピーダンス %Z [%] の式のまとめ

$$\%Z = \frac{Z_{12}}{Z_n} \times 100$$

$$\%Z = \frac{Z_{12} \cdot P_n}{V_{1n}^2} \times 100$$

$$\%Z = \frac{Z_{12} \cdot I_{1n}}{V_{1n}} \times 100$$

$$\%Z = \frac{V_{1z}}{V_{1n}} \times 100$$

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

$Z_{12}$  [ $\Omega$ ] : 変圧器のインピーダンス

$Z_n$  [ $\Omega$ ] : 基準インピーダンス

$P_n$  [ $\text{kV}\cdot\text{A}$ ] : 定格容量

$V_{1n}$  [ $\text{V}$ ] : 定格一次電圧

$I_{1n}$  [ $\text{A}$ ] : 定格一次電流

$V_{1Z}$  [ $\text{V}$ ] : インピーダンス電圧

$p$  [%] : 百分率抵抗降下

$q$  [%] : 百分率リアクタンス降下

## a 短絡電流

定格一次電圧  $V_{1n}$  [V] の変圧器の短絡インピーダンスが  $\%Z$  [%] であるとき、定格一次電流を  $I_{1n}$  [A]、定格容量を  $P_n$  [kV・A] とすると、短絡電流（一次側） $I_s$  [A] は、 $I_s = \frac{V_{1n}}{Z_{12}}$  と、式(13)から導かれる  $Z_{12} = \frac{\%Z V_{1n}}{100 I_{1n}}$  により、次式で表される。

$$100 * 1000 = 100000 = 10E5$$

$$I_s = \frac{100 I_{1n}}{\%Z} = \frac{P_n [\text{kV}\cdot\text{A}]}{\%Z V_{1n} [\text{V}]} \times 10^5 \quad (14)$$

$$\%Z = \frac{Z_{12}}{Z_n} 100 = \frac{\frac{V_{12}}{I_s}}{\frac{V_{12}}{I_n}} 100 = \frac{I_n}{I_s} 100 = \frac{100 I_n}{I_s}$$

**b 短絡容量** 電力の送電のさいには，系統の短絡電流とともに短絡容量の算出が重要となる。定格容量を  $P_n$  [kV・A]，短絡電流を  $I_s$  [A] とすると，式(14)より短絡容量  $P_s$  [kV・A] は，次式で表される。

$$P_s = V_{1n}I_s = V_{1n} \cdot \frac{100I_{1n}}{\%Z} = \frac{100}{\%Z} P_n = \frac{I_s}{I_{1n}} P_n \quad (15)$$

この短絡容量の値は，電力系統に施設する遮断器などの容量を決めるときに利用される。

$$\%Z = \frac{100P_n}{P_s}$$

例題

2

一次電圧  $V_1$  が 6000 V, 二次電圧  $V_2$  が 200 V, 定格容量  $P_n$  が 200 kV·A の単相変圧器がある。%Z は 5 % である。二次側を短絡したとき, 一次短絡電流  $I_s$  [A] と短絡容量  $P_s$  [kV·A] を求めよ。

---

---

**解答** 定格一次電流  $I_{1n} = \frac{200\,000}{6\,000} = 33.3 \text{ A}$

式(14)から、一次短絡電流  $I_s = \frac{100I_{1n}}{\%Z} = \frac{100 \times 33.3}{5} = 666 \text{ A}$

(別解)  $I_s = \frac{P_n [\text{kV}\cdot\text{A}]}{\%Z V_{1n}} \times 10^5 = \frac{200}{5 \times 6\,000} \times 10^5 = 667 \text{ A}$  ②

また、短絡容量  $P_s = \frac{I_s}{I_{1n}} P_n = \frac{666}{33.3} \times 200 = 4\,000 \text{ kV}\cdot\text{A}$

---

例題

3

ある系統の短絡容量  $P_s$  が  $500 \text{ kV}\cdot\text{A}$  のとき，短絡インピーダンス  $\%Z$  を求めよ。ただし，基準容量  $P_n$  は  $20 \text{ kV}\cdot\text{A}$  とする。

---

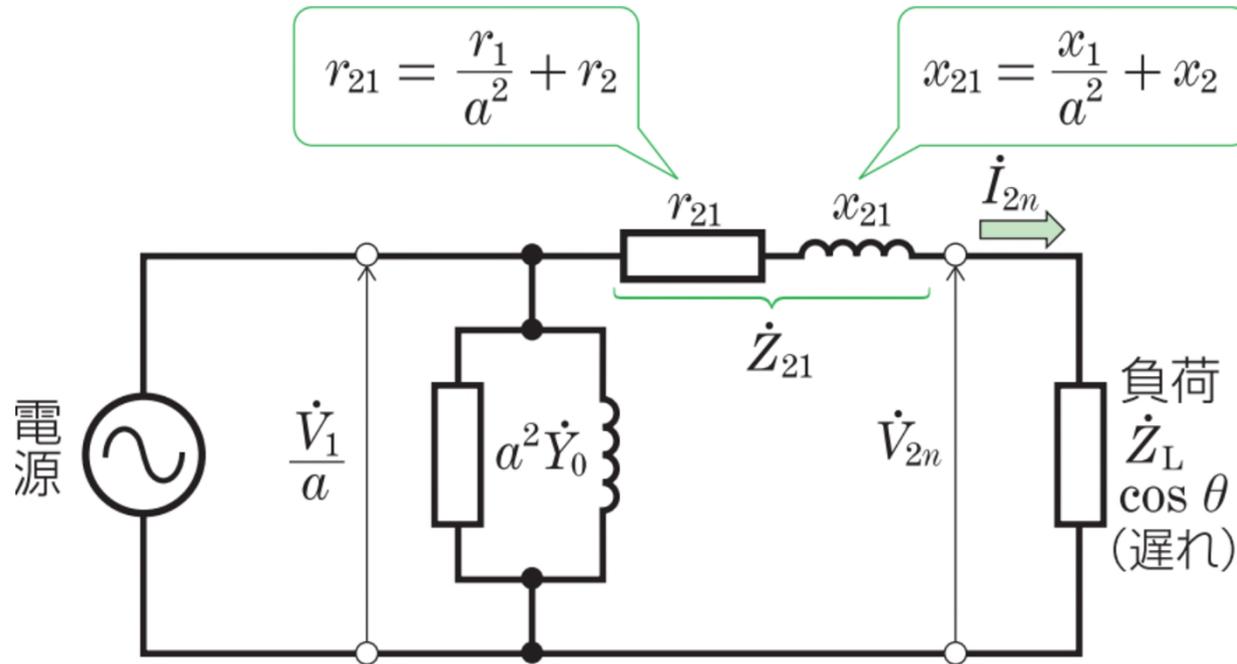
---

**解答** 式(16)  $P_s = \frac{100}{\%Z} P_n$  より,

$$\%Z = \frac{P_n}{P_s} \times 100 = \frac{20}{500} \times 100 = 4\%$$

---

**問 4** 図2において，定格二次電流  $I_{2n}$  が 20 A，二次側に換算した抵抗  $r_{21}$  が  $0.1 \Omega$ ，二次側に換算したリアクタンス  $x_{21}$  が  $0.2 \Omega$ ，定格二次電圧  $V_{2n}$  が 200 V であるという。 $p$ ， $q$ ， $\%Z$  [%] を求めよ。



%Z は次のようにも表される。

$$\begin{aligned}\%Z &= \frac{V_{1Z}}{V_{1n}} \times 100 = \frac{I_{1n}Z_{12}}{V_{1n}} \times 100 \\ &= \sqrt{\left(\frac{r_{12}I_{1n}}{V_{1n}} \times 100\right)^2 + \left(\frac{x_{12}I_{1n}}{V_{1n}} \times 100\right)^2} \quad \textcircled{2} \\ &= \sqrt{p^2 + q^2} \quad (13)\end{aligned}$$



**問 5** 百分率抵抗降下  $p$  が 0.58 %，百分率リアクタンス降下  $q$  が 9.30 % の変圧器がある。短絡インピーダンス  $\%Z$  [%] と，力率 80 % の場合の電圧変動率  $\varepsilon$  [%] を求めよ。

**問 6** 定格一次電圧  $V_{1n}$  が 6600 V, 定格容量が 50 kV·A の変圧器がある。短絡インピーダンス %Z は 4 % である。一次短絡電流  $I_s$  [A] を求めよ。