

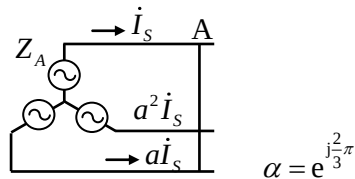
2.8 単位法 (PU 法 : per-unit method) 続き

3相短絡電流

図の A 点で三相短絡を生じた場合, A 点から電源側を見たインピーダンスを $Z_A [\Omega]$, 相電圧を E [V] とすると,

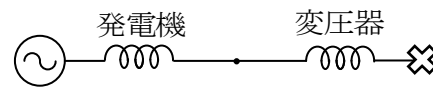
$$1 \text{ 相の短絡電流: } I_S = \frac{E}{Z_A} \text{ [A]} \quad \cdots(1)$$

$$3 \text{ 相短絡容量: } P_S = 3EI_S \text{ [VA]} \quad \cdots(2)$$



右図は発電機と変圧器からなる電力系統で,

変圧器 2 次側換算の機器インピーダンスの合計値を $\dot{Z}_A$ とする。×で 3 相短絡が発生したとする。



変圧器 2 次側の定格相電圧 E , 定格相電流 I_n を基準値とすると, 基準インピーダンスは

$$Z_B = \frac{E}{I_n} \quad \cdots(3) \text{ だから, } \dot{Z}_A \text{ の pu 表示は}$$

$$\dot{Z}_{Apu} = \frac{\dot{Z}_A}{Z_B} = \dot{Z}_A \frac{I_n}{E} \text{。 三相短絡電流は式(1)より}$$

$$I_S = \frac{E}{\dot{Z}_A} = \frac{I_n}{\dot{Z}_{Apu}} \quad \cdots(3) \text{ (定格電流} \div \text{pu 合計値)}$$

単位法の利点まとめ

- (a) 容量, 電圧の無次元化により計算が容易
- (b) 変圧器の 1 次 2 次変換が不要
- (c) pu インピーダンス図は 1 相, 3 相同じ
- (d) % インピーダンスは容量が異なってもほぼ同じ値で, 設計や解析が容易*
- (e) 3 相短絡電流の導出が容易

*変圧器の%リアクタンス

kV	22	33	66	110	154	275
%	5	5.5	7.5	9	11	12

手順

1. 4 つの基準値から 2 つを選択し, 他を計算
 $S_B, V_B, I_B = S_B / V_B, Z_B = V_B / I_B$
2. 全ての量を, 単位法により変換する
 単位法 = 実際の値 / 基準値
3. 単位法で示された回路を解く
4. 実際の値 = 単位法の値 × 基準値, を求める

第 3 章 : 正常時の電力伝送特性

3.1 複素電力

誘導性負荷: $\dot{Z} = R + jX$ に電圧を加えたとき, 負荷で消費される電力を求める。右図の基準ベクトルに対して $\dot{E} = E e^{j(\varphi+\theta)}$, $\dot{I} = I e^{j\theta}$ 。有効電力, 無効電力は $\dot{E} \dot{I}$ ではなく, $\dot{E} \bar{I}$ ($\bar{I} = I e^{-j\theta}$) を使って複素電力 $\dot{S}$ より求める。

$$\begin{aligned} \dot{S} &= \dot{E} \bar{I} = E I e^{j(\varphi+\theta)} e^{-j\theta} = E I e^{j\varphi} \\ &= E I \cos \varphi + j E I \sin \varphi = P + jQ \end{aligned}$$

$$\text{有効電力 } P = E I \cos \varphi,$$

$$\text{無効電力 } Q = E I \sin \varphi,$$

$$\text{力率角 } \varphi = \tan^{-1} \frac{X}{R}$$

$$\text{複素電力: } \dot{S} = P + jQ = \dot{E} \bar{I}$$

$$\text{皮相電力: } S = |\dot{E} \bar{I}| = E I = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

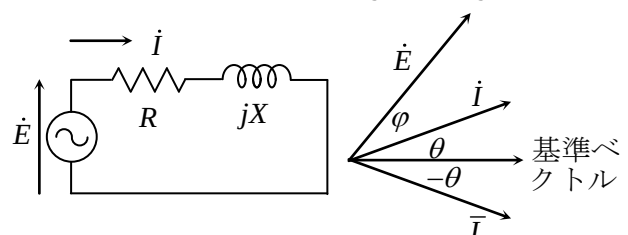
また $\dot{E} = \dot{Z} \dot{I}$, $\dot{I} = \dot{Y} \dot{E}$ なので,

$$\dot{S} = \dot{E} \bar{I} = \dot{Z} \dot{I} \bar{I} = \dot{Z} I^2, \quad \dot{S} = \dot{E} \bar{Y} \dot{E} = \bar{Y} E^2$$

Q が正: 遅れ無効電力 (電流が電圧より遅れ)

Q が負: 進み無効電力 (電流が電圧より進み)

3 相電力は添え字 3 をつけて $P_3 = 3P$, $Q_3 = 3Q$ 。

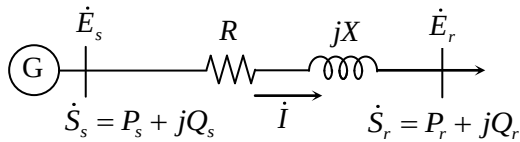


なお, $\dot{E} \dot{I}$ は有効・無効電力を表わさない。

$$\begin{aligned}\dot{E} \dot{I} &= EI e^{j(\varphi+\theta)} e^{j\theta} = EI e^{j(\varphi+2\theta)} \\ &= EI \cos(\varphi+2\theta) + jEI \sin(\varphi+2\theta)\end{aligned}$$

3.2 送受電端電圧と送電電力

線路の等価回路が $R + jX$ である場合, 図より送受電端の相電圧は $\dot{E}_s = \dot{E}_r + (R + jX) \dot{I}$



受電端の力率角を φ , $\dot{E}_s, \dot{E}_r$ の相差角を θ とし, 受電端の相電圧 $\dot{E}_r$ を基準にすると (E_r), フェーザ図より

$$e_{\parallel} = E_s \cos \theta - E_r = RI \cos \varphi + XI \sin \varphi \quad (1)$$

$$e_{\perp} = E_s \sin \theta = XI \cos \varphi - RI \sin \varphi \quad (2)$$

①②を, 受電端電力を使って書き換えると
受電端の有効電力: $P_r = E_r I \cos \varphi$,
受電端の無効電力: $Q_r = E_r I \sin \varphi$ なので,

$$\rightarrow E_s \sin \theta = X \frac{P_r}{E_r} - R \frac{Q_r}{E_r} \quad (4)$$

$$\rightarrow E_s \cos \theta = E_r + R \frac{P_r}{E_r} + X \frac{Q_r}{E_r} \quad (5)$$

θ : 小のときは

$$E_s \theta \approx \frac{XP_r - RQ_r}{E_r} \quad (4')$$

$$E_s \approx E_r + \frac{RP_r + XQ_r}{E_r} \quad (5')$$

3相では, $V = \sqrt{3}E$, $3P_r = P_{3r}$, $3Q_r = Q_{3r}$ より,

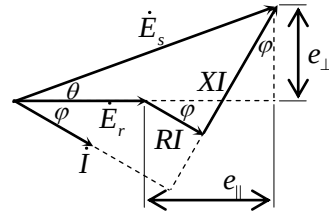
④式, ⑤式 $\sqrt{3}$ 倍して

$$V_s \sin \theta = X \frac{P_{3r}}{V_r} - R \frac{Q_{3r}}{V_r} \quad (6)$$

$$V_s \cos \theta = V_r + R \frac{P_{3r}}{V_r} + X \frac{Q_{3r}}{V_r} \quad (7)$$

また, $\bar{E} \dot{I}$ を使うと遅れ無効電力が負になる。

$$\begin{aligned}\bar{E} \dot{I} &= EI e^{j(\varphi+\theta)} e^{j\theta} = EI e^{-j\varphi} = EI \cos \varphi - jEI \sin \varphi \\ &= P - jQ\end{aligned}$$



θ : 小のときは①より,

$$E_s \approx E_r + (R \cos \varphi + X \sin \varphi) I \quad (3)$$

送電端=受電端+電圧降下 (実際は小さい値)

電圧降下率は (θ : 小のとき)

$$\varepsilon[\%] = \frac{E_s - E_r}{E_r} \times 100 = \frac{(R \cos \varphi + X \sin \varphi) I}{E_r} \times 100$$

電力損失: $P_L = RI^2$

θ : 小のときは③式, ④'⑤'式は

$$V_s \approx V_r + \sqrt{3}(R \cos \varphi + X \sin \varphi) I \quad (8)$$

$$V_s \theta \approx \frac{XP_{3r} - RQ_{3r}}{V_r} \quad (6')$$

$$V_s \approx V_r + \frac{RP_{3r} + XQ_{3r}}{V_r} \quad (7')$$

1相分 (③, ④'⑤') と同じ形。

V_s, V_r 一定で線路抵抗が無視できると ($R=0$)

とすると, $\theta \approx \frac{X}{V_s V_r} P_{3r}$ となり相差角 θ は有効電力

で変化し, 電圧降下 $V_s - V_r \approx \frac{XQ_{3r}}{V_r}$ は無効電力

で変化する。

なお, 電力損失を受電端電力で表すと,

$$P_L = RI^2 = RI^2 (\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi) = R \frac{P_r^2 + Q_r^2}{E_r^2}$$

より, E_r, P_r が一定の時は, 無効電力の大きさによって損失が変化し, $Q_r=0$ のときに伝送損失は最小。