第5回の内容
- ％インピーダンスの基準値の変換
- 三相短絡時の故障電流
- 無効電力の調整

キーワード
三相短絡電流，無効電力
演習提出は次回講義の開始前に変更
TOEIC申込，11 月 14 日見学会案内

3.4 単位法（または pu 法）
- 異なる定格の機器が接続された電力回路の解析に適す
- pu 値 100 倍する方法は％法

- 実際の値／基準値（比：無次元化）

$E_{\mathrm{pu}} = \dfrac{\dot{E}}{E_{\mathrm{B}}}$，$S_{\mathrm{pu}} = \dfrac{S}{S_{\mathrm{B}}}$，$I_{\mathrm{pu}} = \dfrac{\dot{I}}{I_{\mathrm{B}}}$，$Z_{\mathrm{pu}} = \dfrac{\dot{Z}}{Z_{\mathrm{B}}}$

- pu 値は，基準値倍して元の単位に戻す

三相回路　（三相容量はダッシュ表示）
基準値：線間電圧と三相分容量
①基準電圧：線間電圧 V_{B} [V]
②基準容量：三相分容量 $S'_{\mathrm{B}} = 3S_{\mathrm{B}}$ [VA]
基準電流，基準インピーダンスを定義：

③基準電流：$I_{\mathrm{B}} = \dfrac{S_{\mathrm{B}}}{E_{\mathrm{B}}} = \dfrac{S'_{\mathrm{B}}/3}{V_{\mathrm{B}}/\sqrt{3}} = \dfrac{S'_{\mathrm{B}}}{\sqrt{3}V_{\mathrm{B}}}$ [A]

④基準インピーダンス：$Z_{\mathrm{B}} = \dfrac{E_{\mathrm{B}}}{I_{\mathrm{B}}} = \dfrac{E_{\mathrm{B}}^{\ 2}}{S_{\mathrm{B}}} = \dfrac{V_{\mathrm{B}}^{\ 2}}{S'_{\mathrm{B}}}$ [Ω]

$Z_{\mathrm{B}} = \dfrac{V_{\mathrm{B}}^{\ 2}}{S'_{\mathrm{B}}}$ と $S'_{\mathrm{B}} = \sqrt{3}V_{\mathrm{B}}I_{\mathrm{B}}$ より，4 基準値 V_{B}，S'_{B}，I_{B}，Z_{B} のうち 2 つがわかると他の 2 つが求まる。

実際のインピーダンス $\dot{Z}$ の pu 値は

$$\dot{Z}_{\mathrm{pu}} = \frac{\dot{Z}}{Z_{\mathrm{B}}} = \frac{S_{\mathrm{B}}}{E_{\mathrm{B}}^{\ 2}}\dot{Z} = \frac{S'_{\mathrm{B}}}{V_{\mathrm{B}}^{\ 2}}\dot{Z}$$

よって，三相回路で線間電圧と三相分容量を用いると Z_{pu} の表示は単相分と同じ。

$\dot{Z}$ の％インピーダンスは

$$\dot{Z}_{\%} = \dot{Z}_{\mathrm{pu}} \times 100 = \frac{S'_{\mathrm{B}}}{V_{\mathrm{B}}^{\ 2}}\dot{Z} \times 100$$

発電機や変圧器などの電力機器銘板には，定格電圧，定格容量を基準とした％インピーダンスが表示されている。

3.4.3 ％インピーダンスの基準値の変換
実際のインピーダンスが $\dot{Z}$ [Ω]の電力機器の，定格電圧 E_{R} [kV]，定格容量 S_{R} [MVA]に対する％インピーダンス $Z(S_{\mathrm{R}}, E_{\mathrm{R}})_{\%}$ は：

$$\dot{Z}(S_{\mathrm{R}}, E_{\mathrm{R}})_{\%} = \dot{Z}(S_{\mathrm{R}}, E_{\mathrm{R}})_{\mathrm{pu}} \times 100 = \dot{Z}\frac{S_{\mathrm{R}}}{E_{\mathrm{R}}^{\ 2}} \times 100$$

よって，$\dot{Z} = Z(S_{\mathrm{R}}, E_{\mathrm{R}})_{\mathrm{pu}}\dfrac{E_{\mathrm{R}}^{\ 2}}{S_{\mathrm{R}}}$。この機器を基準電圧 E_{B} [kV]，基準容量 S_{B} [MVA]の系統で使用した場合の％インピーダンスは

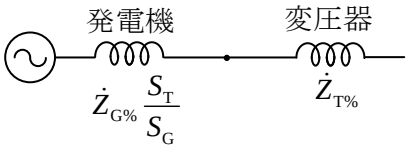
$\dot{Z}(S_{\mathrm{B}}, E_{\mathrm{B}})_{\%} = \dot{Z}\dfrac{S_{\mathrm{B}}}{E_{\mathrm{B}}^{\ 2}} \times 100$ だから，

$$\dot{Z}(S_{\mathrm{B}}, E_{\mathrm{B}})_{\%} = \dot{Z}(S_{\mathrm{R}}, E_{\mathrm{R}})_{\%}\frac{S_{\mathrm{B}}}{S_{\mathrm{R}}}\left(\frac{E_{\mathrm{R}}}{E_{\mathrm{B}}}\right)^2 。$$

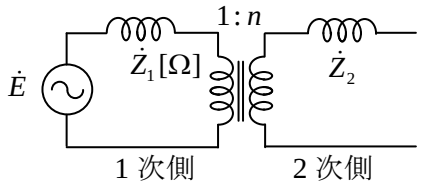
同じ系統電圧ならば（$E_{\mathrm{R}} = E_{\mathrm{B}}$），容量比のみで値を求めることができる。

例　送電端部での％インピーダンス図
発電機（S_{G}，$Z_{\mathrm{G\%}}$）と変圧器（S_{T}，$Z_{\mathrm{T\%}}$）を接続し S_{T} 基準で描くと発電機の％インピーダンスは　$Z_{\mathrm{G\%}}\dfrac{S_{\mathrm{T}}}{S_{\mathrm{G}}}\left(\dfrac{E_{\mathrm{G}}}{E_{\mathrm{T}}}\right)^2$，

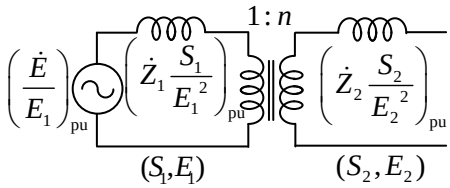
$\dfrac{E_{\mathrm{G}}}{E_{\mathrm{T}}} = 1$ より，インピーダンス図は



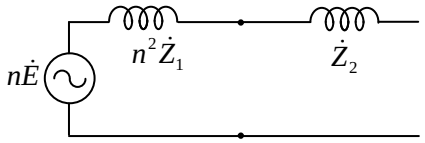
3.4.3 変圧器を含む回路での基準値の選び方



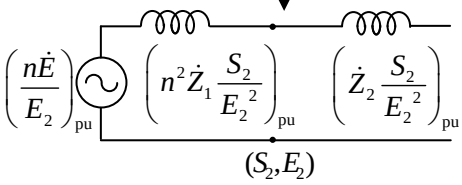
(a) 巻数比 n の変圧器



(b)1次側2次側各々の電圧，容量で pu 表示



(c) 図(a)を 2 次側に換算した図



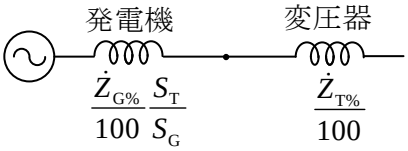
(d) 図(c)の pu インピーダンス図（S_2, E_2 基準）

$E_2 = nE_1$, $S_1 = S_2$ とおけば，(b)と(d)は等しい。つまり1次2次毎に pu インピーダンス図求め，その後直接接続すればよい。

3.4.4 3相短絡電流

右図で発電機と変圧器の pu インピーダンスの合計値を $\dot{Z}_A$ とする。変圧器2次側の定格相電圧 E_{Rt}，と定格相電流 I_{Rt} を基準値とすると，基準インピーダンスは $Z_R = \dfrac{E_{Rt}}{I_{Rt}}$ より，Z_A の pu 表示は

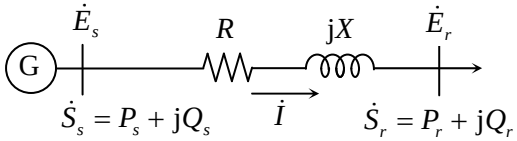
$$\dot{Z}_{Apu} = \frac{\dot{Z}_A}{Z_R} = \dot{Z}_A\frac{I_{Rt}}{E_{Rt}} = I_{Rt}\left(\frac{E_R}{\dot{Z}_A}\right)^{-1}$$



$\dfrac{E_R}{\dot{Z}_A}$ は変圧器2次側が三相短絡故障したときに流れる電流だから，I_{Rt} を基準電流と書き直して

$$三相短絡電流 = \frac{基準電流}{puインピーダンスの合計}$$

例題　下図の単純系統において，$X = 0.5, R = 0.05, P_r = 0.8, Q_r = 0.2, E_r = 1.0$ [pu]（100 MVA，154 kV 基準）の場合の，E_s の値を[kV]単位で求めよ。ただし $E_s \simeq E_r + \dfrac{RP_r + XQ_r}{E_r}$ である（OCW4-2）。



pu 値をΩ値に変換。

$R_{pu} = 0.05 = R\dfrac{100}{154^2}$ より，$R = 11.9\,\Omega$。同様に，$X_{pu} = 0.5 = X\dfrac{100}{154^2}$ より $X = 119\,\Omega$。よって

$$E_s \simeq 154 + \frac{11.9\times0.8\times100[\mathrm{M}] + 119\times0.2\times100[\mathrm{M}]}{154[\mathrm{k}]} = 154 + 21.6 = 175.6\ \ \mathrm{kV}$$

負荷は有効電力と無効電力を消費するから，無効電力も送る必要がある。しかし電圧降下（$E_s - E_r$）が生じ，また送電損失 $P_L = RI^2 = RI^2(\cos^2\varphi + \sin^2\varphi) = R\dfrac{P_r^2 + Q_r^2}{E_r^2}$（OCW4-2）が発生する。よって無効電力の調整により，(a)電圧調整可能，で(b)伝送損失を低減でき，伝送電力は増大する。