

4. 故障計算

- ・ 電力伝送線路が自然・人災事故で地絡
- ・ 事故時の電圧・電流解析より対策を講じる
- ・ 1 線地絡, 2 線地絡, 3 相短絡 (pu 値, 既出)
- ・ 断線故障
- ・ 中性点電位 $\dot{E}_n$, 送電線対地電位の変化

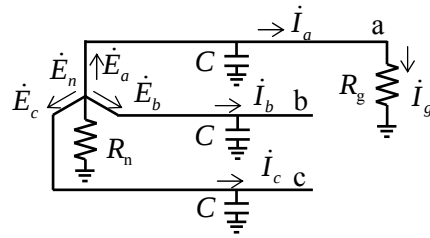


図1

4.1 テブナンの定理による 1 線地絡故障計算

1 線地絡が起こる前の a 点の対地電位 $\dot{E}_a = E$ とおく。なお電源と負荷は平衡のため $\dot{E}_n = 0$
 a 点からみた電源側のインピーダンス $\dot{Z}_0$ は図1

$$\text{より, } \dot{Z}_0 = \frac{R_n \times (j3\omega C)^{-1}}{R_n + (j3\omega C)^{-1}} = \frac{R_n}{1 + j3\omega C R_n}$$

地絡電流 $\dot{I}_g$ は, テブナンの定理より

$$\dot{I}_g = \frac{E}{\frac{R_n}{1 + j3\omega C R_n} + R_g} = \frac{E(1 + j3\omega C R_n)}{R_n + R_g + j3\omega C R_n R_g}$$

中性点が非接地の場合は, $R_n = \infty$ なので

$$\dot{I}_g = \frac{E(1 + j3\omega C R_n)}{R_n + R_g + j3\omega C R_n R_g} \bigg|_{R_n=\infty} = \frac{j3\omega C E}{1 + j3\omega C R_g}$$

中性点電位は, $\dot{E}_n + \dot{E}_a = \dot{I}_g R_g$ より

$$\dot{E}_n = \dot{I}_g R_g - \dot{E}_a \text{。ベクトルオペレータ } (\alpha = e^{j\frac{2\pi}{3}} :$$

後述)をつかうと, 事故時の各相の電圧:

$$\dot{E}'_a = E_a + \dot{E}_n$$

$$\dot{E}'_b = E_b + \dot{E}_n = \alpha^2 E_a + \dot{E}_n$$

$$\dot{E}'_c = E_c + \dot{E}_n = \alpha E_a + \dot{E}_n$$

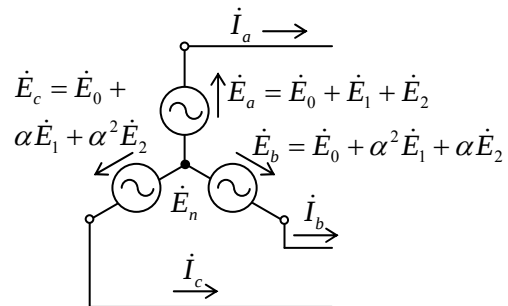
対地電位の大きさは $|\dot{E}'_a|$ などから求まる。

4.2 3 相対称座標法

電力系統は「故障前是对称 3 相回路とみなすことができる」ため, この手法が役立つ

対称 3 相交流電圧は

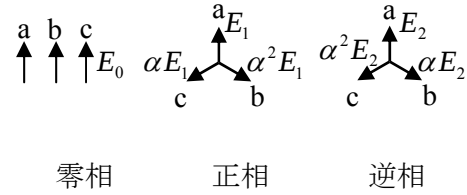
$$\begin{aligned} \dot{E}_a &= E e^{j\omega t} & \dot{E}_a &= E \\ \dot{E}_b &= E e^{j(\omega t - \frac{2\pi}{3})} & \dot{E}_b &= \alpha^2 E \\ \dot{E}_c &= E e^{j(\omega t + \frac{2\pi}{3})} & \dot{E}_c &= \alpha E \end{aligned} \quad \left(\begin{aligned} \alpha^2 &= e^{j\frac{4\pi}{3}} = e^{-j\frac{2\pi}{3}} \\ \alpha &= e^{j\frac{2\pi}{3}} = e^{-j\frac{4\pi}{3}} \end{aligned} \right)$$



$$\alpha = e^{j\frac{2\pi}{3}} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}, \quad 1 + \alpha + \alpha^2 = 0, \quad \alpha^3 = 1$$

対称成分

零相	正相	逆相
$\begin{bmatrix} E_0 \\ E_0 \\ E_0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} E_1 \\ \alpha^2 E_1 \\ \alpha E_1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} E_2 \\ \alpha E_2 \\ \alpha^2 E_2 \end{bmatrix}$



非対称な 3 相交流電圧は対称成分で合成可能

$$\begin{aligned}\dot{E}_a &= \dot{E}_0 + \dot{E}_1 + \dot{E}_2 \\ \dot{E}_b &= \dot{E}_0 + \alpha^2 \dot{E}_1 + \alpha \dot{E}_2 \\ \dot{E}_c &= \dot{E}_0 + \alpha \dot{E}_1 + \alpha^2 \dot{E}_2\end{aligned}$$

このときの対称成分は

$$\begin{bmatrix} \dot{E}_0 \\ \dot{E}_1 \\ \dot{E}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{E}_a \\ \dot{E}_b \\ \dot{E}_c \end{bmatrix}$$

非対称な 3 相交流も同様

$$\begin{aligned}\dot{I}_a &= \dot{I}_0 + \dot{I}_1 + \dot{I}_2 \\ \dot{I}_b &= \dot{I}_0 + \alpha^2 \dot{I}_1 + \alpha \dot{I}_2 \\ \dot{I}_c &= \dot{I}_0 + \alpha \dot{I}_1 + \alpha^2 \dot{I}_2\end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_0 \\ \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix}$$

4.2.2 3 相交流発電機の基本式

発電機の端子電圧

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{E}_a - \dot{v}_a \\ \dot{E}_b - \dot{v}_b \\ \dot{E}_c - \dot{v}_c \end{bmatrix}$$

v_a, v_b, v_c は発電機の電圧降下

対称分は

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{E}_a - \dot{v}_a \\ \dot{E}_b - \dot{v}_b \\ \dot{E}_c - \dot{v}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\dot{v}_0 \\ \dot{E}_1 - \dot{v}_1 \\ -\dot{v}_2 \end{bmatrix}$$

ただし, $\dot{E}_1 = \dot{E}_a$ (また, $\dot{E}_b = \alpha^2 \dot{E}_a, \dot{E}_c = \alpha \dot{E}_a$)

各相に零相, 正相, 逆相の対称 3 相電流を流し

電圧降下比例定数を $\dot{Z}_0, \dot{Z}_1, \dot{Z}_2$ とすれば, 発電機の(電機子)電圧降下は

$$\begin{bmatrix} \dot{v}_a \\ \dot{v}_b \\ \dot{v}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_0 & \dot{Z}_1 & \dot{Z}_2 \\ \dot{Z}_0 & \alpha^2 \dot{Z}_1 & \alpha \dot{Z}_2 \\ \dot{Z}_0 & \alpha \dot{Z}_1 & \alpha^2 \dot{Z}_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_0 \\ \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{v}_a \\ \dot{v}_b \\ \dot{v}_c \end{bmatrix} \text{ より,}$$

$$\dot{V}_0 = \dot{Z}_0 \dot{I}_0, \quad \dot{V}_1 = \dot{Z}_1 \dot{I}_1, \quad \dot{V}_2 = \dot{Z}_2 \dot{I}_2$$

以上から, 3 相交流発電機の基本式は

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_0 \dot{I}_0 \\ \dot{E}_1 - \dot{Z}_1 \dot{I}_1 \\ \dot{Z}_2 \dot{I}_2 \end{bmatrix} \text{ となる。}$$