第10回の内容
- テブナンの定理による1線地絡故障計算
- 三相対称座標法

キーワード：対称分電圧・電流，零相・正相・逆相，対称分インピーダンス，三相交流発電機の基本式

第4章　故障計算

故障計算の種類と目的

1線地絡，2線地絡，3相短絡，断線故障，中性点電位・送電線対地電位変化

地絡故障（電力伝送路の自然・人災事故）対策を講じるため事故時の電圧・電流解析

対称三相交流電圧

$$\dot{E}_a = E\mathrm{e}^{\mathrm{j}\omega t} \qquad \dot{E}_a = E$$
$$\dot{E}_b = E\mathrm{e}^{\mathrm{j}\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right)} \rightarrow \dot{E}_b = \alpha^2 E$$
$$\dot{E}_c = E\mathrm{e}^{\mathrm{j}\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi\right)} \qquad \dot{E}_c = \alpha E$$

ベクトルオペレータ

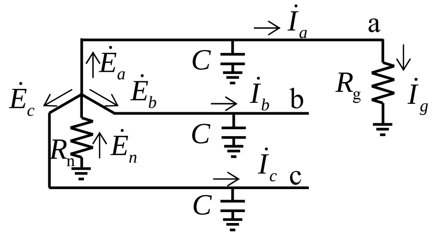
$$\alpha = \mathrm{e}^{\mathrm{j}\frac{2}{3}\pi} = \mathrm{e}^{-\mathrm{j}\frac{4}{3}\pi} = -\frac{1}{2} + \mathrm{j}\frac{\sqrt{3}}{2}, \quad \alpha^2 = \mathrm{e}^{\mathrm{j}\frac{4}{3}\pi} = \mathrm{e}^{-\mathrm{j}\frac{2}{3}\pi}$$
$$1 + \alpha + \alpha^2 = 0, \ \alpha^3 = 1$$

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 点の対地電位を $\dot{E}_a = E$ 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，

$$\dot{Z}_0 = \frac{R_n \times (\mathrm{j}3\omega C)^{-1}}{R_n + (\mathrm{j}3\omega C)^{-1}} = \frac{R_n}{1 + \mathrm{j}3\omega C R_n}$$



地絡電流 $\dot{I}_g$ は，テブナンの定理より

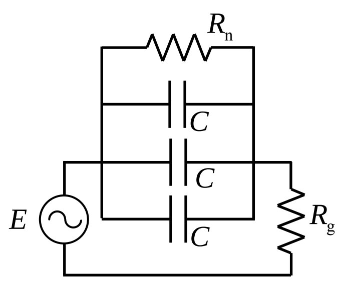
$$\dot{I}_g = \frac{E}{\dfrac{R_n}{1 + \mathrm{j}3\omega C R_n} + R_g} = \frac{E(1 + \mathrm{j}3\omega C R_n)}{R_n + R_g + \mathrm{j}3\omega C R_n R_g}$$

中性点が非接地の場合は，$R_\mathrm{n} = \infty$ なので

$$\dot{I}_g = \left.\frac{E(1 + \mathrm{j}3\omega C R_n)}{R_n + R_g + \mathrm{j}3\omega C R_n R_g}\right|_{R_\mathrm{n} = \infty} = \frac{\mathrm{j}3\omega C E}{1 + \mathrm{j}3\omega C R_g}$$

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

$\dot{E}_n = \dot{I}_g R_g - \dot{E}_a$ となり，0 では無くなる。



よって，事故時の各相の電圧は，

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

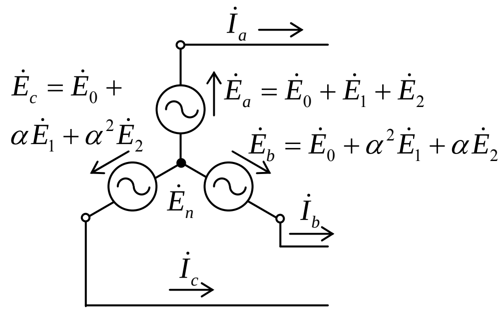
対地電位の大きさは $\left|\dot{E}_a'\right|$ などから求まる。

4.2 三相対称座標法

三相不平衡電圧･電流を，零相，正相，逆相の対称分に分けて取り扱う方法

各電圧･電流は，次の特長がある

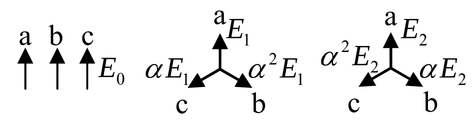
- 零相(0)：各相とも大きさが等しく，同じ位相
- 正相(1)：各相とも大きさが等しく，位相が $a \to b \to c$ の順に $2\pi/3$（120°）ずつ遅れている対称三相交流
- 逆相(2)：各相とも大きさが等しく，位相が $a \to c \to b$ の順に $2\pi/3$ ずつ遅れている対称三相交流



電力系統は「故障前は対称三相回路とみなすことができる」ため，この手法が役立つ

対称成分

各相	零相	正相	逆相
a	E_0	E_1	E_2
b	E_0	$\alpha^2 E_1$	αE_2
c	E_0	αE_1	$\alpha^2 E_2$



零相　　正相　　逆相

非対称な三相交流は対称成分で合成可能

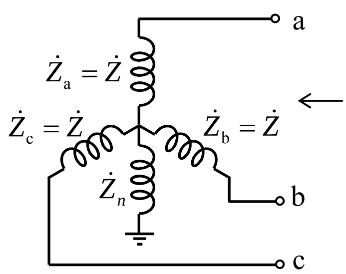
$$\dot{E}_a = \dot{E}_0 + \dot{E}_1 + \dot{E}_2$$
$$\dot{E}_b = \dot{E}_0 + \alpha^2 \dot{E}_1 + \alpha \dot{E}_2$$
$$\dot{E}_c = \dot{E}_0 + \alpha \dot{E}_1 + \alpha^2 \dot{E}_2$$
$$\dot{I}_a = \dot{I}_0 + \dot{I}_1 + \dot{I}_2$$
$$\dot{I}_b = \dot{I}_0 + \alpha^2 \dot{I}_1 + \alpha \dot{I}_2$$
$$\dot{I}_c = \dot{I}_0 + \alpha \dot{I}_1 + \alpha^2 \dot{I}_2$$

$$\dot{E}_0 = \tfrac{1}{3}\left(\dot{E}_a + \dot{E}_b + \dot{E}_c\right)$$
$$\dot{E}_1 = \tfrac{1}{3}\left(\dot{E}_a + \alpha \dot{E}_b + \alpha^2 \dot{E}_c\right)$$
$$\dot{E}_2 = \tfrac{1}{3}\left(\dot{E}_a + \alpha^2 \dot{E}_b + \alpha \dot{E}_c\right)$$

$$\dot{I}_0 = \tfrac{1}{3}\left(\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c\right)$$
$$\dot{I}_1 = \tfrac{1}{3}\left(\dot{I}_a + \alpha \dot{I}_b + \alpha^2 \dot{I}_c\right)$$
$$\dot{I}_2 = \tfrac{1}{3}\left(\dot{I}_a + \alpha^2 \dot{I}_b + \alpha \dot{I}_c\right)$$

4.2.1 対称分インピーダンス

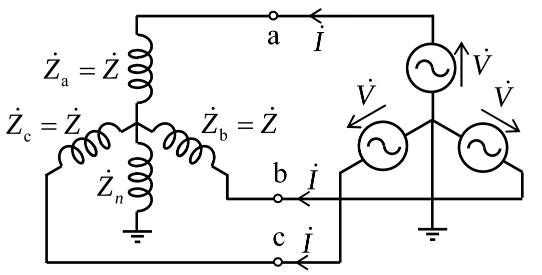
送電線，変圧器，発電機などの対称三相回路において対称分電流が単独に流れたときのインピーダンスを対称分インピーダンスという。



(a) 零相インピーダンス: $\dot{Z}_0 = \dot{Z} + 3\dot{Z}_n$

任意の大きさの仮想零相電源を接続する。中性点接地インピーダンス $\dot{Z}_n$ には 3 倍の電流が流れるため，$\dot{V} - \dot{Z}\,\dot{I} - 3\dot{Z}_n\,\dot{I} = 0$。よって零相インピーダンスは，$\dot{Z}_0 = \dfrac{\dot{V}}{\dot{I}} = \dot{Z} + 3\dot{Z}_n$

零相電源の接続



(b) 正相インピーダンス: $\dot{Z}_1 = \dot{Z}$

任意の大きさの仮想正相電源を接続する。中性点接地インピーダンス$\dot{Z}_n$に流れる電流を考慮して，$\dot{V} - \dot{Z}\,\dot{I} - (1+\alpha+\alpha^2)\dot{Z}_n\dot{I} = 0$。よって正相インピーダンスは，$\dot{Z}_1 = \dfrac{\dot{V}}{\dot{I}} = \dot{Z}$

(c) 逆相インピーダンス: $\dot{Z}_2 = \dot{Z}$

正相インピーダンスと同様にして，仮想逆相電源の接続により求める。

正相電源の接続