

電力回路

(舟木担当分)

第6回 故障計算

平成17年7月01日金曜日 1限目

電力回路授業構成

- 電力システムにおける回路の取り扱い(二回)
 - 電力回路の位置づけ
 - 回路解析の基礎
 - 交流回路解析
 - 多相回路
- 対称座標法(二回)
 - 三相回路と対称回路
- 故障計算(1.5回)
 - 故障の種類
 - 故障回路の対称座標変換
- クラーク座標法(0.5回)

対称座標による故障計算

・ 機器 (設備) のインピーダンス

– 変圧器

・ 三相回路の単位法

(三相電力, 線間電圧ベースで表す)

– 容量ベース (三相, 単相, 相, 線間)

$$VA_{3fBase} = 3VA_{1fBase} = 3V_{PhBase} I_{PhBase} = 3V_{llBase} I_{llBase} = \sqrt{3} V_{llBase} I_{PhBase}$$

– 電圧ベース (相, 線間)

$$V_{llBase} = \sqrt{3} V_{PhBase}$$

– 電流ベース (相, 線間?)

$$\sqrt{3} I_{llBase} = I_{PhBase} \quad I_{PhBase} = \frac{VA_{1fBase}}{V_{PhBase}} = \frac{VA_{3fBase}}{\sqrt{3} V_{llBase}}$$

– インピーダンスベース

$$Z_{PhBase} = \frac{V_{PhBase}}{I_{PhBase}} = \frac{V_{llBase}^2}{VA_{3fBase}} \quad Z_{llBase} = \frac{V_{llBase}}{I_{llBase}} = \frac{3V_{llBase}^2}{VA_{3fBase}}$$

対称座標による故障計算

・ 機器 (設備) のインピーダンス

– 三相変圧器 (単相2巻線変圧器 × 3 YY結線)

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{pa} \\ \dot{V}_{sa} \\ \dot{V}_{pb} \\ \dot{V}_{sb} \\ \dot{V}_{pc} \\ \dot{V}_{sc} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \dot{V}_{pn} \\ \dot{V}_{sn} \\ \dot{V}_{pn} \\ \dot{V}_{sn} \\ \dot{V}_{pn} \\ \dot{V}_{sn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{pp} & \dot{Z}_{ps} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dot{Z}_{sp} & \dot{Z}_{ss} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dot{Z}_{pp} & \dot{Z}_{ps} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dot{Z}_{sp} & \dot{Z}_{ss} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dot{Z}_{pp} & \dot{Z}_{ps} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dot{Z}_{sp} & \dot{Z}_{ss} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{pa} \\ \dot{I}_{sa} \\ \dot{I}_{pb} \\ \dot{I}_{sb} \\ \dot{I}_{pc} \\ \dot{I}_{sc} \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} \dot{I}_{pa} n_p + \dot{I}_{sa} n_s = 0 \\ \dot{I}_{pb} n_p + \dot{I}_{sb} n_s = 0 \\ \dot{I}_{pc} n_p + \dot{I}_{sc} n_s = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{Z}_{pp}, \dot{Z}_{ss} \\ \dot{Z}_{ps}, \dot{Z}_{sp} \\ \dot{Z}_{ps} = \dot{Z}_{sp} \end{cases}$$

$$\dot{V}_{pn} = \dot{Z}_{pn} \dot{I}_{pn} = \dot{Z}_{pn} (\dot{I}_{pa} + \dot{I}_{pb} + \dot{I}_{pc})$$

$$\dot{V}_{sn} = \dot{Z}_{sn} \dot{I}_{sn} = \dot{Z}_{sn} (\dot{I}_{sa} + \dot{I}_{sb} + \dot{I}_{sc})$$

1次, 2次巻線の自己インピーダンス

1次, 2次巻線間の相互インピーダンス

対称座標による故障計算

- 機器 (設備) のインピーダンス
 - 三相変圧器 (単相2巻線変圧器 × 3 YY結線)
 - 単位法で表す

– 単相の場合

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_p \\ \bar{V}_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_{pp} & \bar{Z}_{ps} \\ \bar{Z}_{sp} & \bar{Z}_{ss} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_p \\ \bar{I}_s \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} \bar{Z}_{pp} & \bar{Z}_{ps} \\ \bar{Z}_{sp} & \bar{Z}_{ss} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{Z}_{pp} \frac{VA_{Base}}{V_{pBase}^2} & \dot{Z}_{ps} \frac{VA_{Base}}{V_{pBase}V_{sBase}} \\ \dot{Z}_{sp} \frac{VA_{Base}}{V_{pBase}V_{sBase}} & \dot{Z}_{ss} \frac{VA_{Base}}{V_{sBase}^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_p \\ \bar{I}_s \end{bmatrix} \quad \bar{I}_p + \bar{I}_s = 0$$

– 三相の場合も同様に

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_{pa} \\ \bar{V}_{sa} \\ \bar{V}_{pb} \\ \bar{V}_{sb} \\ \bar{V}_{pc} \\ \bar{V}_{sc} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \bar{V}_{pn} \\ \bar{V}_{sn} \\ \bar{V}_{pn} \\ \bar{V}_{sn} \\ \bar{V}_{pn} \\ \bar{V}_{sn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_{pp} & \bar{Z}_{ps} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \bar{Z}_{sp} & \bar{Z}_{ss} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \bar{Z}_{pp} & \bar{Z}_{ps} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \bar{Z}_{sp} & \bar{Z}_{ss} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \bar{Z}_{pp} & \bar{Z}_{ps} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \bar{Z}_{sp} & \bar{Z}_{ss} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_{pa} \\ \bar{I}_{sa} \\ \bar{I}_{pb} \\ \bar{I}_{sb} \\ \bar{I}_{pc} \\ \bar{I}_{sc} \end{bmatrix}$$

対称座標による故障計算

- 機器 (設備) のインピーダンス
 - 三相変圧器 (単相2巻線変圧器 × 3 YY結線)
 - 単位法で表す

$$\begin{bmatrix} \bar{Z}_{pp} & \bar{Z}_{ps} \\ \bar{Z}_{sp} & \bar{Z}_{ss} \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} \dot{Z}_{pp} \frac{VA_{fBase}}{V_{pPhBase}^2} & \dot{Z}_{ps} \frac{VA_{fBase}}{V_{pPhBase}V_{sPhBase}} \\ \dot{Z}_{sp} \frac{VA_{fBase}}{V_{pPhBase}V_{sPhBase}} & \dot{Z}_{ss} \frac{VA_{fBase}}{V_{sPhBase}^2} \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} \bar{I}_{pa} + \bar{I}_{sa} = 0 \\ \bar{I}_{pb} + \bar{I}_{sb} = 0 \\ \bar{I}_{pc} + \bar{I}_{sc} = 0 \end{cases} \quad \begin{aligned} \bar{V}_{pn} &= \bar{Z}_{pn} \bar{I}_{pn} = \bar{Z}_{pn} (\bar{I}_{pa} + \bar{I}_{pb} + \bar{I}_{pc}) \\ \bar{V}_{sn} &= \bar{Z}_{sn} \bar{I}_{sn} = \bar{Z}_{sn} (\bar{I}_{sa} + \bar{I}_{sb} + \bar{I}_{sc}) \end{aligned}$$

対称座標による故障計算

- 機器 (設備) のインピーダンス
 - 三相変圧器 (単相2巻線変圧器 × 3 YY結線)
 - 対称座標変換

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_{pa} \\ \bar{V}_{pb} \\ \bar{V}_{pc} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \bar{V}_{pn} \\ \bar{V}_{pn} \\ \bar{V}_{pn} \end{bmatrix} = \bar{Z}_{pp} \begin{bmatrix} \bar{I}_{pa} \\ \bar{I}_{pb} \\ \bar{I}_{pc} \end{bmatrix} + \bar{Z}_{ps} \begin{bmatrix} \bar{I}_{sa} \\ \bar{I}_{sb} \\ \bar{I}_{sc} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \bar{V}_{sa} \\ \bar{V}_{sb} \\ \bar{V}_{sc} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \bar{V}_{sn} \\ \bar{V}_{sn} \\ \bar{V}_{sn} \end{bmatrix} = \bar{Z}_{sp} \begin{bmatrix} \bar{I}_{pa} \\ \bar{I}_{pb} \\ \bar{I}_{pc} \end{bmatrix} + \bar{Z}_{ss} \begin{bmatrix} \bar{I}_{sa} \\ \bar{I}_{sb} \\ \bar{I}_{sc} \end{bmatrix}$$

$$\frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{V}_{pa} \\ \bar{V}_{pb} \\ \bar{V}_{pc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{V}_{p0} \\ \bar{V}_{p1} \\ \bar{V}_{p2} \end{bmatrix} \quad \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{V}_{pn} \\ \bar{V}_{pn} \\ \bar{V}_{pn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{V}_{pn} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{V}_{sa} \\ \bar{V}_{sb} \\ \bar{V}_{sc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{V}_{s0} \\ \bar{V}_{s1} \\ \bar{V}_{s2} \end{bmatrix}$$

$$\frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_{pa} \\ \bar{I}_{pb} \\ \bar{I}_{pc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{I}_{p0} \\ \bar{I}_{p1} \\ \bar{I}_{p2} \end{bmatrix} \quad \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{V}_{sn} \\ \bar{V}_{sn} \\ \bar{V}_{sn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{V}_{sn} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_{sa} \\ \bar{I}_{sb} \\ \bar{I}_{sc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{I}_{s0} \\ \bar{I}_{s1} \\ \bar{I}_{s2} \end{bmatrix}$$

対称座標による故障計算

- 機器 (設備) のインピーダンス
 - 三相変圧器 (単相2巻線変圧器 × 3 YY結線)
 - 対称座標変換

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_{p0} \\ \bar{V}_{p1} \\ \bar{V}_{p2} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \bar{V}_{pn} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \bar{Z}_{pp} \begin{bmatrix} \bar{I}_{p0} \\ \bar{I}_{p1} \\ \bar{I}_{p2} \end{bmatrix} + \bar{Z}_{ps} \begin{bmatrix} \bar{I}_{s0} \\ \bar{I}_{s1} \\ \bar{I}_{s2} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \bar{V}_{s0} \\ \bar{V}_{s1} \\ \bar{V}_{s2} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \bar{V}_{sn} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \bar{Z}_{sp} \begin{bmatrix} \bar{I}_{p0} \\ \bar{I}_{p1} \\ \bar{I}_{p2} \end{bmatrix} + \bar{Z}_{ss} \begin{bmatrix} \bar{I}_{s0} \\ \bar{I}_{s1} \\ \bar{I}_{s2} \end{bmatrix}$$

$$\bar{V}_{pn} = \bar{Z}_{pn} (\bar{I}_{pa} + \bar{I}_{pb} + \bar{I}_{pc}) = 3\bar{Z}_{pn} \bar{I}_{p0}$$

$$\bar{V}_{sn} = \bar{Z}_{sn} (\bar{I}_{sa} + \bar{I}_{sb} + \bar{I}_{sc}) = 3\bar{Z}_{sn} \bar{I}_{s0}$$

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_{pa} \\ \bar{I}_{pb} \\ \bar{I}_{pc} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{I}_{sa} \\ \bar{I}_{sb} \\ \bar{I}_{sc} \end{bmatrix} = 0 \quad \Rightarrow \quad \begin{bmatrix} \bar{I}_{p0} \\ \bar{I}_{p1} \\ \bar{I}_{p2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{I}_{s0} \\ \bar{I}_{s1} \\ \bar{I}_{s2} \end{bmatrix} = 0$$

対称座標による故障計算

- 機器 (設備) のインピーダンス
 - 三相変圧器 (単相2巻線変圧器 × 3 YY結線)
 - 対称座標表示

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_{p0} \\ \bar{V}_{s0} \\ \bar{V}_{p1} \\ \bar{V}_{s1} \\ \bar{V}_{p2} \\ \bar{V}_{s2} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \bar{V}_{pn} \\ \bar{V}_{sn} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_{pp} & \bar{Z}_{ps} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \bar{Z}_{sp} & \bar{Z}_{ss} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \bar{Z}_{pp} & \bar{Z}_{ps} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \bar{Z}_{sp} & \bar{Z}_{ss} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \bar{Z}_{pp} & \bar{Z}_{ps} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \bar{Z}_{sp} & \bar{Z}_{ss} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_{p0} \\ \bar{I}_{s0} \\ \bar{I}_{p1} \\ \bar{I}_{s1} \\ \bar{I}_{p2} \\ \bar{I}_{s2} \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \bar{V}_{pn} &= 3\bar{Z}_{pn}\bar{I}_{p0} \\ \bar{V}_{sn} &= 3\bar{Z}_{sn}\bar{I}_{s0} \end{aligned} \quad \begin{cases} \bar{I}_{p0} + \bar{I}_{s0} = 0 \\ \bar{I}_{p1} + \bar{I}_{s1} = 0 \\ \bar{I}_{p2} + \bar{I}_{s2} = 0 \end{cases}$$

対称座標による故障計算

- 機器 (設備) のインピーダンス
 - 三相変圧器 (単相2巻線変圧器 × 3 YY結線)
 - 対称座標表示

$$\begin{aligned} \bar{V}_{p0} - \bar{V}_{pn} - \bar{V}_{s0} + \bar{V}_{sn} &= \bar{V}_{p0} - 3\bar{Z}_{pn}\bar{I}_{p0} - \bar{V}_{s0} + 3\bar{Z}_{sn}\bar{I}_{s0} = \bar{V}_{p0} - 3\bar{Z}_{pn}\bar{I}_{p0} - \bar{V}_{s0} - 3\bar{Z}_{sn}\bar{I}_{p0} \\ &= (\bar{Z}_{pp} - \bar{Z}_{ps} - \bar{Z}_{sp} + \bar{Z}_{ss})\bar{I}_{p0} = (\bar{Z}_{pp} + \bar{Z}_{ss} - 2\bar{Z}_{ps})\bar{I}_{p0} \\ \bar{V}_{p0} - \bar{V}_{s0} &= (\bar{Z}_{pp} + 3\bar{Z}_{pn} + \bar{Z}_{ss} + 3\bar{Z}_{sn} - 2\bar{Z}_{ps})\bar{I}_{p0} \\ \bar{V}_{p1} - \bar{V}_{s1} &= (\bar{Z}_{pp} - \bar{Z}_{ps} - \bar{Z}_{sp} + \bar{Z}_{ss})\bar{I}_{p1} = (\bar{Z}_{pp} + \bar{Z}_{ss} - 2\bar{Z}_{ps})\bar{I}_{p1} \\ \bar{V}_{p2} - \bar{V}_{s2} &= (\bar{Z}_{pp} - \bar{Z}_{ps} - \bar{Z}_{sp} + \bar{Z}_{ss})\bar{I}_{p2} = (\bar{Z}_{pp} + \bar{Z}_{ss} - 2\bar{Z}_{ps})\bar{I}_{p2} \\ \begin{cases} \bar{V}_{p0} - \bar{V}_{s0} = (\bar{Z}_{pp} + 3\bar{Z}_{pn} + \bar{Z}_{ss} + 3\bar{Z}_{sn} - 2\bar{Z}_{ps})\bar{I}_{p0} \\ \bar{V}_{p1} - \bar{V}_{s1} = (\bar{Z}_{pp} + \bar{Z}_{ss} - 2\bar{Z}_{ps})\bar{I}_{p1} \\ \bar{V}_{p2} - \bar{V}_{s2} = (\bar{Z}_{pp} + \bar{Z}_{ss} - 2\bar{Z}_{ps})\bar{I}_{p2} \end{cases} \end{aligned}$$

対称座標による故障計算

・ 機器 (設備) のインピーダンス

– 三相変圧器 (単相2巻線変圧器 × 3 YΔ 結線)

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{pa} \\ \dot{V}_{\Delta a} \\ \dot{V}_{pb} \\ \dot{V}_{\Delta b} \\ \dot{V}_{pc} \\ \dot{V}_{\Delta c} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \dot{V}_{pn} \\ 0 \\ \dot{V}_{pn} \\ 0 \\ \dot{V}_{pn} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{pp} & \dot{Z}_{p\Delta} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dot{Z}_{\Delta p} & \dot{Z}_{\Delta\Delta} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dot{Z}_{pp} & \dot{Z}_{p\Delta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dot{Z}_{\Delta p} & \dot{Z}_{\Delta\Delta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dot{Z}_{pp} & \dot{Z}_{p\Delta} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dot{Z}_{\Delta p} & \dot{Z}_{\Delta\Delta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{pa} \\ \dot{I}_{\Delta a} \\ \dot{I}_{pb} \\ \dot{I}_{\Delta b} \\ \dot{I}_{pc} \\ \dot{I}_{\Delta c} \end{bmatrix} \quad \begin{cases} \dot{I}_{sa} = \dot{I}_{\Delta c} - \dot{I}_{\Delta b} \\ \dot{I}_{sb} = \dot{I}_{\Delta a} - \dot{I}_{\Delta c} \\ \dot{I}_{sc} = \dot{I}_{\Delta b} - \dot{I}_{\Delta a} \\ \dot{V}_{\Delta a} = \dot{V}_{sb} - \dot{V}_{sc} \\ \dot{V}_{\Delta b} = \dot{V}_{sc} - \dot{V}_{sa} \\ \dot{V}_{\Delta c} = \dot{V}_{sa} - \dot{V}_{sb} \end{cases}$$

$$\dot{V}_{pn} = \dot{Z}_{pn} \dot{I}_{pn} = \dot{Z}_{pn} (\dot{I}_{pa} + \dot{I}_{pb} + \dot{I}_{pc})$$

$$\begin{cases} \dot{I}_{pa} n_p + \dot{I}_{\Delta a} n_{\Delta} = 0 & \dot{Z}_{pp}, \dot{Z}_{ss} & \text{1次, 2次巻線の自己インピーダンス} \\ \dot{I}_{pb} n_p + \dot{I}_{\Delta b} n_{\Delta} = 0 & \dot{Z}_{ps}, \dot{Z}_{sp} & \text{1次, 2次巻線間の相互インピーダンス} \\ \dot{I}_{pc} n_p + \dot{I}_{\Delta c} n_{\Delta} = 0 & \dot{Z}_{ps} = \dot{Z}_{sp} \end{cases}$$

対称座標による故障計算

・ 機器 (設備) のインピーダンス

– 三相変圧器 (単相2巻線変圧器 × 3 YΔ 結線)

・ 単位法で表す

– 単相の場合

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_p \\ \bar{V}_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_{pp} & \bar{Z}_{ps} \\ \bar{Z}_{sp} & \bar{Z}_{ss} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_p \\ \bar{I}_s \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \bar{Z}_{pp} & \bar{Z}_{ps} \\ \bar{Z}_{sp} & \bar{Z}_{ss} \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} \dot{Z}_{pp} \frac{VA_{Base}}{V_{pBase}^2} & \dot{Z}_{ps} \frac{VA_{Base}}{V_{pBase} V_{sBase}} \\ \dot{Z}_{sp} \frac{VA_{Base}}{V_{pBase} V_{sBase}} & \dot{Z}_{ss} \frac{VA_{Base}}{V_{sBase}^2} \end{bmatrix} \quad \bar{I}_p + \bar{I}_s = 0$$

– 三相の場合も同様に

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_{pa} \\ \bar{V}_{\Delta a} \\ \bar{V}_{pb} \\ \bar{V}_{\Delta b} \\ \bar{V}_{pc} \\ \bar{V}_{\Delta c} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \bar{V}_{pn} \\ 0 \\ \bar{V}_{pn} \\ 0 \\ \bar{V}_{pn} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_{pp} & \bar{Z}_{p\Delta} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \bar{Z}_{s\Delta} & \bar{Z}_{\Delta\Delta} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \bar{Z}_{pp} & \bar{Z}_{p\Delta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \bar{Z}_{\Delta p} & \bar{Z}_{\Delta\Delta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \bar{Z}_{pp} & \bar{Z}_{p\Delta} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \bar{Z}_{\Delta p} & \bar{Z}_{\Delta\Delta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_{pa} \\ \bar{I}_{\Delta a} \\ \bar{I}_{pb} \\ \bar{I}_{\Delta b} \\ \bar{I}_{pc} \\ \bar{I}_{\Delta c} \end{bmatrix}$$

対称座標による故障計算

- 機器 (設備) のインピーダンス
 - 三相変圧器 (単相2巻線変圧器 × 3 YΔ 結線)
 - 単位法で表す

$$\begin{bmatrix} \bar{Z}_{pp} & \bar{Z}_{p\Delta} \\ \bar{Z}_{\Delta p} & \bar{Z}_{\Delta\Delta} \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} \dot{Z}_{pp} \frac{VA_{fBase}^2}{V_{pPhBase}^2} & \dot{Z}_{ps} \frac{VA_{fBase}}{V_{pPhBase} V_{\Delta PhBase}} \\ \dot{Z}_{sp} \frac{VA_{fBase}}{V_{pPhBase} V_{\Delta PhBase}} & \dot{Z}_{ss} \frac{VA_{fBase}^2}{V_{\Delta PhBase}^2} \end{bmatrix}$$

$$\frac{1}{3} VA_{3fBase} = VA_{1fBase} = V_{pPhBase} I_{pPhBase} = V_{\Delta\Delta Base} I_{\Delta\Delta Base} = \sqrt{3} V_{sPhBase} \frac{I_{sPhBase}}{\sqrt{3}} = V_{sPhBase} I_{sPhBase}$$

$$\begin{cases} Z_{pPhBase} = \frac{V_{pPhBase}^2}{VA_{1fBase}^2} \\ Z_{\Delta\Delta Base} = \frac{V_{\Delta\Delta Base}^2}{VA_{1fBase}^2} = \frac{(\sqrt{3} V_{sPhBase})^2}{VA_{1fBase}^2} = 3 \frac{V_{sPhBase}^2}{VA_{1fBase}^2} = 3 Z_{sPhBase} \end{cases} \begin{cases} V_{\Delta\Delta Base} = \sqrt{3} V_{sPhBase} \\ I_{\Delta\Delta Base} = \frac{I_{sPhBase}}{\sqrt{3}} \end{cases} \begin{cases} \frac{V_{pPhBase}}{n_p} = \frac{V_{\Delta\Delta Base}}{n_{\Delta}} = \frac{\sqrt{3} V_{sPhBase}}{n_{\Delta}} \\ I_{pPhBase} n_p = I_{\Delta\Delta Base} n_{\Delta} = \frac{I_{sPhBase} n_{\Delta}}{\sqrt{3}} \end{cases}$$

対称座標による故障計算

- 機器 (設備) のインピーダンス
 - 三相変圧器 (単相2巻線変圧器 × 3 YΔ 結線)
 - 単位法で表す

$$\begin{cases} \bar{I}_{pa} + \bar{I}_{\Delta a} = 0 \\ \bar{I}_{pb} + \bar{I}_{\Delta b} = 0 \\ \bar{I}_{pc} + \bar{I}_{\Delta c} = 0 \end{cases} \quad \bar{V}_{pn} = \bar{Z}_{pn} \bar{I}_{pn} = \bar{Z}_{pn} (\bar{I}_{pa} + \bar{I}_{pb} + \bar{I}_{pc})$$

$$\Delta \text{ ベース } \begin{cases} \sqrt{3} \bar{I}_{sa} = \bar{I}_{\Delta c} - \bar{I}_{\Delta b} \\ \sqrt{3} \bar{I}_{sb} = \bar{I}_{\Delta a} - \bar{I}_{\Delta c} \\ \sqrt{3} \bar{I}_{sc} = \bar{I}_{\Delta b} - \bar{I}_{\Delta a} \end{cases} \quad \sqrt{3} \begin{bmatrix} \bar{I}_{sa} \\ \bar{I}_{sb} \\ \bar{I}_{sc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{I}_{\Delta c} \\ \bar{I}_{\Delta a} \\ \bar{I}_{\Delta b} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \bar{I}_{\Delta b} \\ \bar{I}_{\Delta c} \\ \bar{I}_{\Delta a} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_{\Delta a} \\ \bar{I}_{\Delta b} \\ \bar{I}_{\Delta c} \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} \bar{V}_{\Delta a} = \frac{\bar{V}_{sb}}{\sqrt{3}} - \frac{\bar{V}_{sc}}{\sqrt{3}} \\ \bar{V}_{\Delta b} = \frac{\bar{V}_{sc}}{\sqrt{3}} - \frac{\bar{V}_{sa}}{\sqrt{3}} \\ \bar{V}_{\Delta c} = \frac{\bar{V}_{sa}}{\sqrt{3}} - \frac{\bar{V}_{sb}}{\sqrt{3}} \end{cases} \quad \begin{bmatrix} \bar{V}_{\Delta a} \\ \bar{V}_{\Delta b} \\ \bar{V}_{\Delta c} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} \bar{V}_{sb} \\ \bar{V}_{sc} \\ \bar{V}_{sa} \end{bmatrix} - \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} \bar{V}_{sc} \\ \bar{V}_{sa} \\ \bar{V}_{sb} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{V}_{sa} \\ \bar{V}_{sb} \\ \bar{V}_{sc} \end{bmatrix}$$

対称座標による故障計算

- 機器 (設備) のインピーダンス
 - 三相変圧器 (単相2巻線変圧器 × 3 YΔ 結線)
 - 対称座標変換

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_{pa} \\ \bar{V}_{pb} \\ \bar{V}_{pc} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \bar{V}_{pn} \\ \bar{V}_{pn} \\ \bar{V}_{pn} \end{bmatrix} = \bar{Z}_{pp} \begin{bmatrix} \bar{I}_{pa} \\ \bar{I}_{pb} \\ \bar{I}_{pc} \end{bmatrix} + \bar{Z}_{p\Delta} \begin{bmatrix} \bar{I}_{\Delta a} \\ \bar{I}_{\Delta b} \\ \bar{I}_{\Delta c} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \bar{V}_{\Delta a} \\ \bar{V}_{\Delta b} \\ \bar{V}_{\Delta c} \end{bmatrix} = \bar{Z}_{\Delta p} \begin{bmatrix} \bar{I}_{pa} \\ \bar{I}_{pb} \\ \bar{I}_{pc} \end{bmatrix} + \bar{Z}_{\Delta\Delta} \begin{bmatrix} \bar{I}_{\Delta a} \\ \bar{I}_{\Delta b} \\ \bar{I}_{\Delta c} \end{bmatrix}$$

$$\frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{V}_{pa} \\ \bar{V}_{pb} \\ \bar{V}_{pc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{V}_{p0} \\ \bar{V}_{p1} \\ \bar{V}_{p2} \end{bmatrix} \quad \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{V}_{pn} \\ \bar{V}_{pn} \\ \bar{V}_{pn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{V}_{pn} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_{pa} \\ \bar{I}_{pb} \\ \bar{I}_{pc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{I}_{p0} \\ \bar{I}_{p1} \\ \bar{I}_{p2} \end{bmatrix} \quad \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_{\Delta a} \\ \bar{I}_{\Delta b} \\ \bar{I}_{\Delta c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{I}_{\Delta 0} \\ \bar{I}_{\Delta 1} \\ \bar{I}_{\Delta 2} \end{bmatrix}$$

対称座標による故障計算

- 機器 (設備) のインピーダンス
 - 三相変圧器 (単相2巻線変圧器 × 3 YΔ 結線)
 - 対称座標変換

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_{p0} \\ \bar{V}_{p1} \\ \bar{V}_{p2} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \bar{V}_{pn} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \bar{Z}_{pp} \begin{bmatrix} \bar{I}_{p0} \\ \bar{I}_{p1} \\ \bar{I}_{p2} \end{bmatrix} + \bar{Z}_{p\Delta} \begin{bmatrix} \bar{I}_{\Delta 0} \\ \bar{I}_{\Delta 1} \\ \bar{I}_{\Delta 2} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \bar{V}_{\Delta 0} \\ \bar{V}_{\Delta 1} \\ \bar{V}_{\Delta 2} \end{bmatrix} = \bar{Z}_{\Delta p} \begin{bmatrix} \bar{I}_{p0} \\ \bar{I}_{p1} \\ \bar{I}_{p2} \end{bmatrix} + \bar{Z}_{\Delta\Delta} \begin{bmatrix} \bar{I}_{\Delta 0} \\ \bar{I}_{\Delta 1} \\ \bar{I}_{\Delta 2} \end{bmatrix}$$

$$\bar{V}_{pn} = \bar{Z}_{pn} (\bar{I}_{pa} + \bar{I}_{pb} + \bar{I}_{pc}) = 3\bar{Z}_{pn} \bar{I}_{p0}$$

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_{pa} \\ \bar{I}_{pb} \\ \bar{I}_{pc} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{I}_{\Delta a} \\ \bar{I}_{\Delta b} \\ \bar{I}_{\Delta c} \end{bmatrix} = 0 \quad \Rightarrow \quad \begin{bmatrix} \bar{I}_{p0} \\ \bar{I}_{p1} \\ \bar{I}_{p2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{I}_{\Delta 0} \\ \bar{I}_{\Delta 1} \\ \bar{I}_{\Delta 2} \end{bmatrix} = 0$$

対称座標による故障計算

- 機器 (設備) のインピーダンス
 - 三相変圧器 (単相2巻線変圧器 × 3 YΔ 結線)
 - 対称座標変換

$$\begin{aligned}
 \sqrt{3} \begin{bmatrix} \bar{I}_{s0} \\ \bar{I}_{s1} \\ \bar{I}_{s2} \end{bmatrix} &= \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_{\Delta 0} \\ \bar{I}_{\Delta 1} \\ \bar{I}_{\Delta 2} \end{bmatrix} \\
 &= \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & -a^2+a & -a+a^2 \\ 0 & 1-a & 1-a^2 \\ 0 & -1+a^2 & -1+a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_{\Delta 0} \\ \bar{I}_{\Delta 1} \\ \bar{I}_{\Delta 2} \end{bmatrix} \\
 &= \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 0 & -a^2+a+1-a-1+a^2 & -a+a^2+1-a^2-1+a \\ 0 & -a^2+a+a-a^2-a^2+a^4 & -a+a^2+a-a^3-a^2+a^3 \\ 0 & -a^2+a+a^2-a^3-a+a^3 & -a+a^2+a^2-a^4-a+a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_{\Delta 0} \\ \bar{I}_{\Delta 1} \\ \bar{I}_{\Delta 2} \end{bmatrix} \\
 &= \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3a-3a^2 & 0 \\ 0 & 0 & -3a+3a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_{\Delta 0} \\ \bar{I}_{\Delta 1} \\ \bar{I}_{\Delta 2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & j\sqrt{3} & 0 \\ 0 & 0 & -j\sqrt{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_{\Delta 0} \\ \bar{I}_{\Delta 1} \\ \bar{I}_{\Delta 2} \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_{s0} \\ \bar{I}_{s1} \\ \bar{I}_{s2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & j & 0 \\ 0 & 0 & -j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_{\Delta 0} \\ \bar{I}_{\Delta 1} \\ \bar{I}_{\Delta 2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ j\bar{I}_{\Delta 1} \\ -j\bar{I}_{\Delta 2} \end{bmatrix}$$

対称座標による故障計算

- 機器 (設備) のインピーダンス
 - 三相変圧器 (単相2巻線変圧器 × 3 YΔ 結線)
 - 対称座標変換

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} \bar{V}_{\Delta 0} \\ \bar{V}_{\Delta 1} \\ \bar{V}_{\Delta 2} \end{bmatrix} &= \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{V}_{s0} \\ \bar{V}_{s1} \\ \bar{V}_{s2} \end{bmatrix} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & -a^2+a & -a+a^2 \\ 0 & 1-a & 1-a^2 \\ 0 & -1+a^2 & -1+a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{V}_{s0} \\ \bar{V}_{s1} \\ \bar{V}_{s2} \end{bmatrix} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 0 & -a^2+a+1-a-1+a^2 & -a+a^2+1-a^2-1+a \\ 0 & -a^2+a+a-a^2-a^2+a^4 & -a+a^2+a-a^3-a^2+a^3 \\ 0 & -a^2+a+a^2-a^3-a+a^3 & -a+a^2+a^2-a^4-a+a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{V}_{s0} \\ \bar{V}_{s1} \\ \bar{V}_{s2} \end{bmatrix} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3a-3a^2 & 0 \\ 0 & 0 & -3a+3a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{V}_{s0} \\ \bar{V}_{s1} \\ \bar{V}_{s2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & j & 0 \\ 0 & 0 & -j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{V}_{s0} \\ \bar{V}_{s1} \\ \bar{V}_{s2} \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_{\Delta 0} \\ \bar{V}_{\Delta 1} \\ \bar{V}_{\Delta 2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ j\bar{V}_{s1} \\ -j\bar{V}_{s2} \end{bmatrix}$$

対称座標による故障計算

- 機器 (設備) のインピーダンス
 - 三相変圧器 (単相2巻線変圧器 × 3 YΔ 結線)
 - 対称座標表示

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_{p0} \\ \bar{V}_{\Delta 0} \\ \bar{V}_{p1} \\ \bar{V}_{\Delta 1} \\ \bar{V}_{p2} \\ \bar{V}_{\Delta 2} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \bar{V}_{pn} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_{pp} & \bar{Z}_{p\Delta} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \bar{Z}_{s\Delta} & \bar{Z}_{\Delta\Delta} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \bar{Z}_{pp} & \bar{Z}_{p\Delta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \bar{Z}_{\Delta p} & \bar{Z}_{\Delta\Delta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \bar{Z}_{pp} & \bar{Z}_{p\Delta} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \bar{Z}_{\Delta p} & \bar{Z}_{\Delta\Delta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_{p0} \\ \bar{I}_{\Delta 0} \\ \bar{I}_{p1} \\ \bar{I}_{\Delta 1} \\ \bar{I}_{p2} \\ \bar{I}_{\Delta 2} \end{bmatrix}$$

$$\bar{V}_{pn} = 3\bar{Z}_{pn}\bar{I}_{p0} \quad \begin{cases} \bar{I}_{p0} + \bar{I}_{\Delta 0} = 0 \\ \bar{I}_{p1} + \bar{I}_{\Delta 1} = 0 \\ \bar{I}_{p2} + \bar{I}_{\Delta 2} = 0 \end{cases} \quad \begin{bmatrix} \bar{V}_{\Delta 0} \\ \bar{V}_{\Delta 1} \\ \bar{V}_{\Delta 2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ j\bar{V}_{s1} \\ -j\bar{V}_{s2} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \bar{I}_{s0} \\ \bar{I}_{s1} \\ \bar{I}_{s2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ j\bar{I}_{\Delta 1} \\ -j\bar{I}_{\Delta 2} \end{bmatrix}$$

対称座標による故障計算

- 機器 (設備) のインピーダンス
 - 三相変圧器 (単相2巻線変圧器 × 3 YΔ 結線)
 - 対称座標表示

$$\begin{aligned} \bar{V}_{p0} - \bar{V}_{pn} - \bar{V}_{\Delta 0} &= \bar{V}_{p0} - 3\bar{Z}_{pn}\bar{I}_{p0} - \bar{V}_{\Delta 0} = \bar{V}_{p0} - 3\bar{Z}_{pn}\bar{I}_{p0} - \bar{V}_{\Delta 0} \\ &= (\bar{Z}_{pp} - \bar{Z}_{p\Delta} - \bar{Z}_{\Delta p} + \bar{Z}_{\Delta\Delta})\bar{I}_{p0} = (\bar{Z}_{pp} + \bar{Z}_{\Delta\Delta} - 2\bar{Z}_{p\Delta})\bar{I}_{p0} \\ \bar{V}_{p0} - \bar{V}_{\Delta 0} &= (\bar{Z}_{pp} + 3\bar{Z}_{pn} + \bar{Z}_{\Delta\Delta} - 2\bar{Z}_{p\Delta})\bar{I}_{p0} \\ \bar{V}_{p1} - \bar{V}_{\Delta 1} &= (\bar{Z}_{pp} - \bar{Z}_{p\Delta} - \bar{Z}_{\Delta p} + \bar{Z}_{\Delta\Delta})\bar{I}_{p1} = (\bar{Z}_{pp} + \bar{Z}_{\Delta\Delta} - 2\bar{Z}_{p\Delta})\bar{I}_{p1} \\ \bar{V}_{p2} - \bar{V}_{\Delta 2} &= (\bar{Z}_{pp} - \bar{Z}_{p\Delta} - \bar{Z}_{\Delta p} + \bar{Z}_{\Delta\Delta})\bar{I}_{p2} = (\bar{Z}_{pp} + \bar{Z}_{\Delta\Delta} - 2\bar{Z}_{p\Delta})\bar{I}_{p2} \end{aligned}$$

$$\begin{cases} \bar{V}_{p0} = (\bar{Z}_{pp} + 3\bar{Z}_{pn} + \bar{Z}_{\Delta\Delta} - 2\bar{Z}_{p\Delta})\bar{I}_{p0} \\ \bar{V}_{p1} - \bar{V}_{\Delta 1} = (\bar{Z}_{pp} + \bar{Z}_{\Delta\Delta} - 2\bar{Z}_{p\Delta})\bar{I}_{p1} \\ \bar{V}_{p2} - \bar{V}_{\Delta 2} = (\bar{Z}_{pp} + \bar{Z}_{\Delta\Delta} - 2\bar{Z}_{p\Delta})\bar{I}_{p2} \end{cases} \quad \begin{cases} \bar{V}_{s0} = \text{不定} \\ \bar{V}_{s1} = -j\bar{V}_{\Delta 1} \\ \bar{V}_{s2} = j\bar{V}_{\Delta 2} \end{cases} \quad \begin{cases} \bar{I}_{s0} = 0 \\ \bar{I}_{s1} = j\bar{I}_{\Delta 1} \\ \bar{I}_{s2} = -j\bar{I}_{\Delta 2} \end{cases}$$

対称座標による故障計算

- 故障の種類
 - 短絡故障
 - 落雷, 樹木接触等
 - 一線地絡
 - 二線地絡
 - 三線地絡
 - 二線短絡
 - 三線短絡
 - 断線故障
 - 電線・ジャンパ線の切断, 遮断器故障による接点開放
 - 一線断線
 - 二線断線

対称座標による故障計算

- 発電機近傍の故障
 - 一線地絡故障(1LG) 無負荷時
 - 一相(a相)の端子を接地
 - 故障条件

$$\begin{cases} \dot{V}_a = 0 \\ \dot{I}_b = \dot{I}_c = 0 \end{cases} \quad \text{無負荷}$$
 - 故障条件の対称座標表示

$$\dot{V}_a = \dot{V}_0 + \dot{V}_1 + \dot{V}_2 = 0$$

$$\dot{I}_b = \dot{I}_0 + a^2 \dot{I}_1 + a \dot{I}_2 = 0$$

$$\dot{I}_c = \dot{I}_0 + a \dot{I}_1 + a^2 \dot{I}_2 = 0$$

但し $a = \exp(j \frac{2}{3} p)$

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix}$$

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

対称座標による故障計算

- 発電機近傍の故障

- 一線地絡故障(1LG) 無負荷時

- 発電機端子電圧電流の対称座標表示

$$\begin{cases} \dot{V}_0 = -\dot{Z}_0 \dot{I}_0 \\ \dot{V}_1 = \dot{E}_1 - \dot{Z}_1 \dot{I}_1 \\ \dot{V}_2 = -\dot{Z}_2 \dot{I}_2 \end{cases}$$

- 対称座標表示での電圧・電流解を求める

$$\dot{V}_a = \dot{V}_0 + \dot{V}_1 + \dot{V}_2 = -\dot{Z}_0 \dot{I}_0 + \dot{E}_1 - \dot{Z}_1 \dot{I}_1 - \dot{Z}_2 \dot{I}_2 = 0$$

$$\begin{cases} \dot{Z}_0 \dot{I}_0 + \dot{Z}_1 \dot{I}_1 + \dot{Z}_2 \dot{I}_2 = \dot{E}_1 \\ \dot{I}_0 + a^2 \dot{I}_1 + a \dot{I}_2 = 0 \\ \dot{I}_0 + a \dot{I}_1 + a^2 \dot{I}_2 = 0 \end{cases} \quad \rightarrow \text{解く}$$

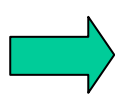
対称座標による故障計算

- 発電機近傍の故障

- 一線地絡故障(1LG) 無負荷時

- 対称座標表示での電圧・電流解を求める

$$\begin{cases} (\dot{Z}_1 - a^2 \dot{Z}_0) \dot{I}_1 + (\dot{Z}_2 - a \dot{Z}_0) \dot{I}_2 = \dot{E}_1 \\ (\dot{Z}_1 - a \dot{Z}_0) \dot{I}_1 + (\dot{Z}_2 - a^2 \dot{Z}_0) \dot{I}_2 = \dot{E}_1 \end{cases}$$



$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}_1}{\dot{Z}_0 + \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2}$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_1}{\dot{Z}_0 + \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2}$$

対称分の
等価回路

$$\dot{I}_0 = -a^2 \dot{I}_1 - a \dot{I}_2 = \frac{(-a^2 - a) \dot{E}_1}{\dot{Z}_0 + \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} = \frac{\dot{E}_1}{\dot{Z}_0 + \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2}$$

対称座標による故障計算

- 発電機近傍の故障

- 一線地絡故障(1LG) 無負荷時

- 対称座標表示での電圧・電流解を求める

$$\begin{aligned}\dot{V}_0 &= -\dot{Z}_0 \dot{I}_0 = \frac{-\dot{Z}_0 \dot{E}_1}{\dot{Z}_0 + \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} \\ \dot{V}_1 &= \dot{E}_1 - \dot{Z}_1 \dot{I}_1 = \dot{E}_1 - \dot{Z}_1 \frac{\dot{E}_1}{\dot{Z}_0 + \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} = \frac{(\dot{Z}_0 + \dot{Z}_2) \dot{E}_1}{\dot{Z}_0 + \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} \\ \dot{V}_2 &= -\dot{Z}_2 \dot{I}_2 = \frac{-\dot{Z}_2 \dot{E}_1}{\dot{Z}_0 + \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2}\end{aligned}$$

- 相座標表示

- 故障電流 $\dot{I}_a = \dot{I}_0 + \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = \frac{3\dot{E}_1}{\dot{Z}_0 + \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2}$

- 健全相電圧

$$\begin{aligned}\dot{V}_b &= \dot{V}_0 + a^2 \dot{V}_1 + a \dot{V}_2 = \frac{-\dot{Z}_0 \dot{E}_1}{\dot{Z}_0 + \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} + a^2 \frac{(\dot{Z}_0 + \dot{Z}_2) \dot{E}_1}{\dot{Z}_0 + \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} + a \frac{-\dot{Z}_2 \dot{E}_1}{\dot{Z}_0 + \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} = \frac{(a^2 - 1)\dot{Z}_0 + (a^2 - a)\dot{Z}_2}{\dot{Z}_0 + \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} \dot{E}_1 \\ \dot{V}_c &= \dot{V}_0 + a \dot{V}_1 + a^2 \dot{V}_2 = \frac{-\dot{Z}_0 \dot{E}_1}{\dot{Z}_0 + \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} + a \frac{(\dot{Z}_0 + \dot{Z}_2) \dot{E}_1}{\dot{Z}_0 + \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} + a^2 \frac{-\dot{Z}_2 \dot{E}_1}{\dot{Z}_0 + \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} = \frac{(a - 1)\dot{Z}_0 + (a - a^2)\dot{Z}_2}{\dot{Z}_0 + \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} \dot{E}_1\end{aligned}$$

対称座標による故障計算

- 発電機近傍の故障

- 二線地絡故障(2LG) 無負荷時

- 二相(bc相)の端子が接地

- 故障条件

$$\begin{cases} \dot{V}_b = \dot{V}_c = 0 \\ \dot{I}_a = 0 \end{cases} \quad \text{無負荷}$$

- 故障条件の対称座標表示

但し $a = \exp(j \frac{2}{3} p)$

$$\begin{cases} \dot{V}_b = \dot{V}_0 + a^2 \dot{V}_1 + a \dot{V}_2 = 0 \\ \dot{V}_c = \dot{V}_0 + a \dot{V}_1 + a^2 \dot{V}_2 = 0 \\ \dot{I}_a = \dot{I}_0 + \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = 0 \end{cases} \quad \begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_0 \\ \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

対称座標による故障計算

- 発電機近傍の故障

- 二線地絡故障(2LG) 無負荷時

- 発電機端子電圧電流の対称座標表示

$$\begin{cases} \dot{V}_0 = -\dot{Z}_0 \dot{I}_0 \\ \dot{V}_1 = \dot{E}_1 - \dot{Z}_1 \dot{I}_1 \\ \dot{V}_2 = -\dot{Z}_2 \dot{I}_2 \end{cases}$$

- 対称座標表示での電圧・電流解を求める

$$\begin{cases} \dot{V}_b = -\dot{Z}_0 \dot{I}_0 + a^2 (\dot{E}_1 - \dot{Z}_1 \dot{I}_1) - a \dot{Z}_2 \dot{I}_2 = 0 \\ \dot{V}_c = -\dot{Z}_0 \dot{I}_0 + a (\dot{E}_1 - \dot{Z}_1 \dot{I}_1) - a^2 \dot{Z}_2 \dot{I}_2 = 0 \\ \dot{I}_a = \dot{I}_0 + \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = 0 \end{cases} \quad \rightarrow \text{解く}$$

対称座標による故障計算

- 発電機近傍の故障

- 二線地絡故障(2LG) 無負荷時

- 対称座標表示での電圧・電流解を求める

$$\begin{cases} \dot{Z}_0 \dot{I}_0 + a^2 \dot{Z}_1 \dot{I}_1 + a \dot{Z}_2 \dot{I}_2 = a^2 \dot{E}_1 \\ \dot{Z}_0 \dot{I}_0 + a \dot{Z}_1 \dot{I}_1 + a^2 \dot{Z}_2 \dot{I}_2 = a \dot{E}_1 \\ \dot{I}_0 + \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= \frac{\dot{Z}_0 + \dot{Z}_2}{\dot{Z}_0 \dot{Z}_1 + \dot{Z}_1 \dot{Z}_2 + \dot{Z}_2 \dot{Z}_0} \dot{E}_1 \\ \dot{I}_2 &= \frac{-\dot{Z}_0}{\dot{Z}_0 \dot{Z}_1 + \dot{Z}_1 \dot{Z}_2 + \dot{Z}_2 \dot{Z}_0} \dot{E}_1 \end{aligned}$$

$$\dot{I}_0 = -\dot{I}_1 - \dot{I}_2 = \frac{-\dot{Z}_0 - \dot{Z}_2 + \dot{Z}_0}{\dot{Z}_0 \dot{Z}_1 + \dot{Z}_1 \dot{Z}_2 + \dot{Z}_2 \dot{Z}_0} \dot{E}_1 = \frac{-\dot{Z}_2}{\dot{Z}_0 \dot{Z}_1 + \dot{Z}_1 \dot{Z}_2 + \dot{Z}_2 \dot{Z}_0} \dot{E}_1$$

対称座標による故障計算

- 発電機近傍の故障
 - 二線地絡故障(2LG) 無負荷時
 - 対称座標表示での電圧・電流解を求める

$$\dot{V}_0 = -\dot{Z}_0 \dot{I}_0 = \frac{\dot{Z}_0 \dot{Z}_2}{\dot{Z}_0 \dot{Z}_1 + \dot{Z}_1 \dot{Z}_2 + \dot{Z}_2 \dot{Z}_0} \dot{E}_1$$

$$\dot{V}_1 = \dot{E}_1 - \dot{Z}_1 \dot{I}_1 = \dot{E}_1 - \dot{Z}_1 \frac{\dot{Z}_0 + \dot{Z}_2}{\dot{Z}_0 \dot{Z}_1 + \dot{Z}_1 \dot{Z}_2 + \dot{Z}_2 \dot{Z}_0} \dot{E}_1 = \frac{\dot{Z}_0 \dot{Z}_2}{\dot{Z}_0 \dot{Z}_1 + \dot{Z}_1 \dot{Z}_2 + \dot{Z}_2 \dot{Z}_0} \dot{E}_1$$

$$\dot{V}_2 = -\dot{Z}_2 \dot{I}_2 = \frac{\dot{Z}_0 \dot{Z}_2}{\dot{Z}_0 \dot{Z}_1 + \dot{Z}_1 \dot{Z}_2 + \dot{Z}_2 \dot{Z}_0} \dot{E}_1$$

$$\dot{V}_0 = \dot{V}_1 = \dot{V}_2 \quad \text{より対称分の等価回路}$$

対称座標による故障計算

- 発電機近傍の故障
 - 二線地絡故障(2LG) 無負荷時
 - 相座標表示
 - 健全相電圧

$$\dot{V}_a = \dot{V}_0 + \dot{V}_1 + \dot{V}_2 = \frac{\dot{Z}_0 \dot{Z}_2 + \dot{Z}_0 \dot{Z}_2 + \dot{Z}_0 \dot{Z}_2}{\dot{Z}_0 \dot{Z}_1 + \dot{Z}_1 \dot{Z}_2 + \dot{Z}_2 \dot{Z}_0} \dot{E}_1 = \frac{3\dot{Z}_0 \dot{Z}_2}{\dot{Z}_0 \dot{Z}_1 + \dot{Z}_1 \dot{Z}_2 + \dot{Z}_2 \dot{Z}_0} \dot{E}_1$$

- 故障電流

$$\dot{I}_b = \dot{I}_0 + a^2 \dot{I}_1 + a \dot{I}_2 = \frac{-\dot{Z}_2 + a^2(\dot{Z}_0 + \dot{Z}_2) - a\dot{Z}_0}{\dot{Z}_0 \dot{Z}_1 + \dot{Z}_1 \dot{Z}_2 + \dot{Z}_2 \dot{Z}_0} \dot{E}_1 = \frac{(a^2 - a)\dot{Z}_0 + (a^2 - 1)\dot{Z}_2}{\dot{Z}_0 \dot{Z}_1 + \dot{Z}_1 \dot{Z}_2 + \dot{Z}_2 \dot{Z}_0} \dot{E}_1$$

$$\dot{I}_c = \dot{I}_0 + a \dot{I}_1 + a^2 \dot{I}_2 = \frac{-\dot{Z}_2 + a(\dot{Z}_0 + \dot{Z}_2) - a^2 \dot{Z}_0}{\dot{Z}_0 \dot{Z}_1 + \dot{Z}_1 \dot{Z}_2 + \dot{Z}_2 \dot{Z}_0} \dot{E}_1 = \frac{(a - a^2)\dot{Z}_0 + (a - 1)\dot{Z}_2}{\dot{Z}_0 \dot{Z}_1 + \dot{Z}_1 \dot{Z}_2 + \dot{Z}_2 \dot{Z}_0} \dot{E}_1$$

対称座標による故障計算

- 発電機近傍の故障

- 二線短絡故障(2LS) 無負荷時

- 二相(bc相)の端子が短絡 (接地はしない)

- 故障条件

$$\begin{cases} \dot{V}_b = \dot{V}_c \\ \dot{I}_a = 0 \\ \dot{I}_b = -\dot{I}_c \end{cases} \quad \text{無負荷}$$

但し $a = \exp(j\frac{2}{3}p)$

- 故障条件の対称座標表示

$$\begin{cases} \dot{V}_b = \dot{V}_0 + a^2 \dot{V}_1 + a \dot{V}_2 = \dot{V}_c = \dot{V}_0 + a \dot{V}_1 + a^2 \dot{V}_2 \\ \dot{I}_a = \dot{I}_0 + \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = 0 \\ \dot{I}_b = \dot{I}_0 + a^2 \dot{I}_1 + a \dot{I}_2 = -\dot{I}_c = -\dot{I}_0 - a \dot{I}_1 - a^2 \dot{I}_2 \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix}$$

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

対称座標による故障計算

- 発電機近傍の故障

- 二線短絡故障(2LS) 無負荷時

- 対称座標表示での電圧・電流解を求める

$$\Rightarrow \dot{V}_0 + a^2 \dot{V}_1 + a \dot{V}_2 = \dot{V}_0 + a \dot{V}_1 + a^2 \dot{V}_2$$

$$(a^2 - a) \dot{V}_1 + (a - a^2) \dot{V}_2 = 0$$

$$(a^2 - a) (\dot{V}_1 - \dot{V}_2) = 0$$

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_2$$

$$\Rightarrow -\dot{I}_1 - \dot{I}_2 + a^2 \dot{I}_1 + a \dot{I}_2 = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 - a \dot{I}_1 - a^2 \dot{I}_2$$

$$2\dot{I}_1 + 2\dot{I}_2 - (a + a^2) \dot{I}_1 - (a + a^2) \dot{I}_2 = 0$$

$$3\dot{I}_1 + 3\dot{I}_2 = 0$$

$$\dot{I}_1 = -\dot{I}_2$$

対称座標による故障計算

- 発電機近傍の故障

- 二線短絡故障(2LS) 無負荷時

- 発電機端子電圧電流の対称座標表示

$$\begin{cases} \dot{V}_0 = -\dot{Z}_0 \dot{I}_0 \\ \dot{V}_1 = \dot{E}_1 - \dot{Z}_1 \dot{I}_1 \\ \dot{V}_2 = -\dot{Z}_2 \dot{I}_2 \end{cases}$$

- 対称座標表示での電圧・電流解を求める

$$\begin{aligned} \dot{V}_1 = \dot{V}_2 &\Rightarrow \dot{E}_1 - \dot{Z}_1 \dot{I}_1 = -\dot{Z}_2 \dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 = -\dot{I}_2 &\Rightarrow \dot{E}_1 - \dot{Z}_1 \dot{I}_1 = \dot{Z}_2 \dot{I}_1 \Rightarrow I_1 = \frac{\dot{E}_1}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} \\ &I_2 = -\frac{\dot{E}_1}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} \end{aligned}$$

対称座標による故障計算

- 発電機近傍の故障

- 二線短絡故障(2LS) 無負荷時

- 対称座標表示での電圧・電流解を求める

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 = -\dot{I}_2 &\Rightarrow \dot{I}_0 + \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = 0 \\ &\dot{I}_0 = 0 \end{aligned}$$

$$\dot{V}_0 = -\dot{Z}_0 \dot{I}_0 \Rightarrow \dot{V}_0 = 0 \quad \text{対称分の等価回路}$$

$$\dot{V}_1 = \dot{E}_1 - \dot{Z}_1 \dot{I}_1 = \dot{E}_1 - \dot{Z}_1 \frac{\dot{E}_1}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} = \frac{\dot{Z}_2}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} \dot{E}_1$$

$$\dot{V}_2 = -\dot{Z}_2 \dot{I}_2 = \frac{\dot{Z}_2}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} \dot{E}_1 \quad \dot{V}_1 = \dot{V}_2$$

対称座標による故障計算

- 発電機近傍の故障

- 二線短絡故障(2LS) 無負荷時

- 相座標表示

- 健全相電圧

$$\dot{V}_a = \dot{V}_0 + \dot{V}_1 + \dot{V}_2 = 2\dot{V}_1 = \frac{2\dot{Z}_2}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} \dot{E}_1$$

- 故障相電圧

$$\dot{V}_b = \dot{V}_c = \dot{V}_0 + a^2 \dot{V}_1 + a \dot{V}_2 = \frac{(a^2 + a)\dot{Z}_2}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} \dot{E}_1 = -\frac{\dot{Z}_2}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2} \dot{E}_1$$

- 故障電流

$$\dot{I}_b = \dot{I}_c = \dot{I}_0 + a^2 \dot{I}_1 + a \dot{I}_2 = \frac{(a^2 - a)\dot{E}_1}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2}$$

対称座標による故障計算

- 発電機近傍の故障

- 三線短絡故障(3LS)

- 三相(abc相)の端子が短絡 (接地はしない)

- 故障条件

$$\begin{cases} \dot{V}_a = \dot{V}_b = \dot{V}_c \\ \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = 0 \quad \text{KCL} \end{cases}$$

- 故障条件の対称座標表示

$$\begin{cases} \dot{V}_a = \dot{V}_b = \dot{V}_c \\ \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} \dot{V}_a = \dot{V}_0 + \dot{V}_1 + \dot{V}_2 = \dot{V}_0 + a^2 \dot{V}_1 + a \dot{V}_2 = \dot{V}_0 + a \dot{V}_1 + a^2 \dot{V}_2 \\ \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = 0 \end{cases}$$

但し $a = \exp(j \frac{2}{3} p)$

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix}$$

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

対称座標による故障計算

- 発電機近傍の故障

- 三線短絡故障(3LS) 無負荷時

- 対称座標表示での電圧・電流解を求める

$$\Rightarrow \dot{V}_0 + \dot{V}_1 + \dot{V}_2 = \dot{V}_0 + a^2 \dot{V}_1 + a \dot{V}_2$$

$$(1 - a^2) \dot{V}_1 + (1 - a) \dot{V}_2 = 0$$

$$(1 - a) [(1 + a) \dot{V}_1 + \dot{V}_2] = 0$$

$$\dot{V}_1 = -\frac{1}{1+a} \dot{V}_2$$

$$\Rightarrow \dot{V}_0 + a^2 \dot{V}_1 + a \dot{V}_2 = \dot{V}_0 + a \dot{V}_1 + a^2 \dot{V}_2$$

$$(a^2 - a) \dot{V}_1 + (a - a^2) \dot{V}_2 = 0$$

$$(a^2 - a) (\dot{V}_1 - \dot{V}_2) = 0$$

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_2$$

対称座標による故障計算

- 発電機近傍の故障

- 三線短絡故障(3LS) 無負荷時

- 対称座標表示での電圧・電流解を求める

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{V}_1 = -\frac{1}{1+a} \dot{V}_2 \\ \dot{V}_1 = \dot{V}_2 \end{array} \right. \Rightarrow \dot{V}_2 = -\frac{1}{1+a} \dot{V}_2$$

$$\dot{V}_2 \frac{2+a}{1+a} = 0$$

$$\dot{V}_2 = 0$$

$$\Rightarrow \dot{V}_1 = \dot{V}_2 = 0$$

$$\Rightarrow \dot{I}_0 + \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_0 + a^2 \dot{I}_1 + a \dot{I}_2 + \dot{I}_0 + a \dot{I}_1 + a^2 \dot{I}_2 = 0$$

$$3\dot{I}_0 + (1 + a^2 + a) \dot{I}_1 + (1 + a + a^2) \dot{I}_2 = 0$$

$$3\dot{I}_0 = 0$$

$$\dot{I}_0 = 0$$

対称座標による故障計算

- 発電機近傍の故障

- 三線短絡故障(3LS) 無負荷時

- 発電機端子電圧電流の対称座標表示

$$\begin{cases} \dot{V}_0 = -\dot{Z}_0 \dot{I}_0 \\ \dot{V}_1 = \dot{E}_1 - \dot{Z}_1 \dot{I}_1 \\ \dot{V}_2 = -\dot{Z}_2 \dot{I}_2 \end{cases}$$

- 対称座標表示での電圧・電流解を求める

$$\dot{V}_2 = 0 \quad \Rightarrow \quad \dot{V}_2 = -\dot{Z}_2 \dot{I}_2 \quad \Rightarrow \quad \dot{I}_2 = -\frac{\dot{V}_2}{\dot{Z}_2} = 0$$

$$\dot{I}_0 = 0 \quad \Rightarrow \quad \dot{V}_0 = -\dot{Z}_0 \dot{I}_0 = 0$$

$$\dot{V}_1 = 0 \quad \Rightarrow \quad \dot{V}_1 = \dot{E}_1 - \dot{Z}_1 \dot{I}_1 \quad \Rightarrow \quad \dot{I}_1 = \frac{\dot{E}_1}{\dot{Z}_1}$$

対称座標による故障計算

- 発電機近傍の故障

- 三線短絡故障(3LS) 無負荷時

- 対称座標表示での電圧・電流解を求める

$$\dot{V}_0 = \dot{V}_1 = \dot{V}_2 = 0 \quad \dot{I}_0 = \dot{I}_2 = 0 \quad \dot{I}_1 = \frac{\dot{E}_1}{\dot{Z}_1} \quad \text{対称分の等価回路}$$

- 相座標表示

3LSも3LGも結果は同じ

- 端子電圧

$$\begin{cases} \dot{V}_a = \dot{V}_0 + \dot{V}_1 + \dot{V}_2 = 0 \\ \dot{V}_b = \dot{V}_0 + a^2 \dot{V}_1 + a \dot{V}_2 = 0 \\ \dot{V}_c = \dot{V}_0 + a \dot{V}_1 + a^2 \dot{V}_2 = 0 \end{cases}$$

- 端子電流

$$\begin{cases} \dot{I}_a = \dot{I}_0 + \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_1}{\dot{Z}_1} \\ \dot{I}_b = \dot{I}_0 + a^2 \dot{I}_1 + a \dot{I}_2 = a^2 \frac{\dot{E}_1}{\dot{Z}_1} \\ \dot{I}_c = \dot{I}_0 + a \dot{I}_1 + a^2 \dot{I}_2 = a \frac{\dot{E}_1}{\dot{Z}_1} \end{cases}$$