

電力回路

(舟木担当分)

第3回 対称座標法

平成17年6月13日月曜日 5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 (2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 (2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)

本日の予定 演習課題 (引原先生分)の回収

対称座標法

- 三相交流電圧・電流の対称座標変換
 - 相座標系(a,b,c)→対称座標系(0,1,2)

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix} \quad \text{但し } a = \exp(j\frac{2}{3}p)$$

- 対称座標系(0,1,2)→相座標系(a,b,c)

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix} \quad \text{電流も同様}$$

対称座標法

- 電圧・電流以外の諸量の取り扱い

- インピーダンス

- 相座標表現

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{aa} & \dot{Z}_{ab} & \dot{Z}_{ac} \\ \dot{Z}_{ba} & \dot{Z}_{bb} & \dot{Z}_{bc} \\ \dot{Z}_{ca} & \dot{Z}_{cb} & \dot{Z}_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix}$$

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

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{aa} & \dot{Z}_{ab} & \dot{Z}_{ac} \\ \dot{Z}_{ba} & \dot{Z}_{bb} & \dot{Z}_{bc} \\ \dot{Z}_{ca} & \dot{Z}_{cb} & \dot{Z}_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_0 \\ \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix}$$

対称座標法

- 電圧・電流以外の諸量の取り扱い

– インピーダンス

- 相座標形式

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{aa} & \dot{Z}_{ab} & \dot{Z}_{ac} \\ \dot{Z}_{ba} & \dot{Z}_{bb} & \dot{Z}_{bc} \\ \dot{Z}_{ca} & \dot{Z}_{cb} & \dot{Z}_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix}$$

- 対称座標形式

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{00} & \dot{Z}_{01} & \dot{Z}_{02} \\ \dot{Z}_{10} & \dot{Z}_{11} & \dot{Z}_{12} \\ \dot{Z}_{20} & \dot{Z}_{21} & \dot{Z}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_0 \\ \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix}$$

どないして変換する?

対称座標法

- 電圧・電流以外の諸量の取り扱い

– インピーダンス

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

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{aa} & \dot{Z}_{ab} & \dot{Z}_{ac} \\ \dot{Z}_{ba} & \dot{Z}_{bb} & \dot{Z}_{bc} \\ \dot{Z}_{ca} & \dot{Z}_{cb} & \dot{Z}_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix} \quad \text{は}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{aa} & \dot{Z}_{ab} & \dot{Z}_{ac} \\ \dot{Z}_{ba} & \dot{Z}_{bb} & \dot{Z}_{bc} \\ \dot{Z}_{ca} & \dot{Z}_{cb} & \dot{Z}_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_0 \\ \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} \quad \text{と表せる}$$

対称座標法

- 電圧・電流以外の諸量の取り扱い

－ インピーダンス

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \dot{Z}_{aa} & \dot{Z}_{ab} & \dot{Z}_{ac} \\ \dot{Z}_{ba} & \dot{Z}_{bb} & \dot{Z}_{bc} \\ \dot{Z}_{ca} & \dot{Z}_{cb} & \dot{Z}_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_0 \\ \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \dot{Z}_{aa} & \dot{Z}_{ab} & \dot{Z}_{ac} \\ \dot{Z}_{ba} & \dot{Z}_{bb} & \dot{Z}_{bc} \\ \dot{Z}_{ca} & \dot{Z}_{cb} & \dot{Z}_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_0 \\ \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} \\
 &= \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{Z}_{aa} & \dot{Z}_{ab} & \dot{Z}_{ac} \\ \dot{Z}_{ba} & \dot{Z}_{bb} & \dot{Z}_{bc} \\ \dot{Z}_{ca} & \dot{Z}_{cb} & \dot{Z}_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_0 \\ \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

対称座標法

- インピーダンス行列の扱い

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \dot{Z}_{00} & \dot{Z}_{01} & \dot{Z}_{02} \\ \dot{Z}_{10} & \dot{Z}_{11} & \dot{Z}_{12} \\ \dot{Z}_{20} & \dot{Z}_{21} & \dot{Z}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_0 \\ \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} \\
 \begin{bmatrix} \dot{Z}_{00} & \dot{Z}_{01} & \dot{Z}_{02} \\ \dot{Z}_{10} & \dot{Z}_{11} & \dot{Z}_{12} \\ \dot{Z}_{20} & \dot{Z}_{21} & \dot{Z}_{22} \end{bmatrix} &= \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{Z}_{aa} & \dot{Z}_{ab} & \dot{Z}_{ac} \\ \dot{Z}_{ba} & \dot{Z}_{bb} & \dot{Z}_{bc} \\ \dot{Z}_{ca} & \dot{Z}_{cb} & \dot{Z}_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

－ アドミタンス

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Y}_{aa} & \dot{Y}_{ab} & \dot{Y}_{ac} \\ \dot{Y}_{ba} & \dot{Y}_{bb} & \dot{Y}_{bc} \\ \dot{Y}_{ca} & \dot{Y}_{cb} & \dot{Y}_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix} \quad \Rightarrow \quad \begin{bmatrix} \dot{I}_0 \\ \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Y}_{00} & \dot{Y}_{01} & \dot{Y}_{02} \\ \dot{Y}_{10} & \dot{Y}_{11} & \dot{Y}_{12} \\ \dot{Y}_{20} & \dot{Y}_{21} & \dot{Y}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix}$$

対称座標法

- 電圧・電流以外の諸量の取り扱い

– アドミタンス

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Y}_{aa} & \dot{Y}_{ab} & \dot{Y}_{ac} \\ \dot{Y}_{ba} & \dot{Y}_{bb} & \dot{Y}_{bc} \\ \dot{Y}_{ca} & \dot{Y}_{cb} & \dot{Y}_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_0 \\ \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Y}_{aa} & \dot{Y}_{ab} & \dot{Y}_{ac} \\ \dot{Y}_{ba} & \dot{Y}_{bb} & \dot{Y}_{bc} \\ \dot{Y}_{ca} & \dot{Y}_{cb} & \dot{Y}_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{Y}_{00} & \dot{Y}_{01} & \dot{Y}_{02} \\ \dot{Y}_{10} & \dot{Y}_{11} & \dot{Y}_{12} \\ \dot{Y}_{20} & \dot{Y}_{21} & \dot{Y}_{22} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{Y}_{aa} & \dot{Y}_{ab} & \dot{Y}_{ac} \\ \dot{Y}_{ba} & \dot{Y}_{bb} & \dot{Y}_{bc} \\ \dot{Y}_{ca} & \dot{Y}_{cb} & \dot{Y}_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$$

対称座標法

- インピーダンス行列の扱い

$$\begin{bmatrix} \dot{Z}_{00} & \dot{Z}_{01} & \dot{Z}_{02} \\ \dot{Z}_{10} & \dot{Z}_{11} & \dot{Z}_{12} \\ \dot{Z}_{20} & \dot{Z}_{21} & \dot{Z}_{22} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{Z}_{aa} & \dot{Z}_{ab} & \dot{Z}_{ac} \\ \dot{Z}_{ba} & \dot{Z}_{bb} & \dot{Z}_{bc} \\ \dot{Z}_{ca} & \dot{Z}_{cb} & \dot{Z}_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$$

- アドミタンス行列の扱い

$$\begin{bmatrix} \dot{Y}_{00} & \dot{Y}_{01} & \dot{Y}_{02} \\ \dot{Y}_{10} & \dot{Y}_{11} & \dot{Y}_{12} \\ \dot{Y}_{20} & \dot{Y}_{21} & \dot{Y}_{22} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{Y}_{aa} & \dot{Y}_{ab} & \dot{Y}_{ac} \\ \dot{Y}_{ba} & \dot{Y}_{bb} & \dot{Y}_{bc} \\ \dot{Y}_{ca} & \dot{Y}_{cb} & \dot{Y}_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$$

– ここまででは, 対称座標法のメリットが見えん

対称座標法

- 対称座標の利点

- インピーダンス行列の扱い

- 送電線路の場合

- 自己インダクタンス $L_{aa} \cong L_{bb} \cong L_{cc}$
 - 相互インダクタンス $L_{ab} \cong L_{ba} \cong L_{bc} \cong L_{cb} \cong L_{ca} \cong L_{ac}$

- 相座標系でのインピーダンス行列

$$\begin{aligned}\dot{Z}_s &\equiv \dot{Z}_{aa} \cong \dot{Z}_{bb} \cong \dot{Z}_{cc} \\ \dot{Z}_m &\equiv \dot{Z}_{ab} \cong \dot{Z}_{ba} \cong \dot{Z}_{bc} \cong \dot{Z}_{cb} \cong \dot{Z}_{ca} \cong \dot{Z}_{ac}\end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{Z}_{aa} & \dot{Z}_{ab} & \dot{Z}_{ac} \\ \dot{Z}_{ba} & \dot{Z}_{bb} & \dot{Z}_{bc} \\ \dot{Z}_{ca} & \dot{Z}_{cb} & \dot{Z}_{cc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_s & \dot{Z}_m & \dot{Z}_m \\ \dot{Z}_m & \dot{Z}_s & \dot{Z}_m \\ \dot{Z}_m & \dot{Z}_m & \dot{Z}_s \end{bmatrix} \leftarrow \text{密}$$

対称座標法

- 対称座標の利点

- インピーダンス行列の扱い

- 送電線路の場合

$$\begin{aligned}\begin{bmatrix} \dot{Z}_{00} & \dot{Z}_{01} & \dot{Z}_{02} \\ \dot{Z}_{10} & \dot{Z}_{11} & \dot{Z}_{12} \\ \dot{Z}_{20} & \dot{Z}_{21} & \dot{Z}_{22} \end{bmatrix} &= \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{Z}_{aa} & \dot{Z}_{ab} & \dot{Z}_{ac} \\ \dot{Z}_{ba} & \dot{Z}_{bb} & \dot{Z}_{bc} \\ \dot{Z}_{ca} & \dot{Z}_{cb} & \dot{Z}_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \\ &= \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{Z}_s & \dot{Z}_m & \dot{Z}_m \\ \dot{Z}_m & \dot{Z}_s & \dot{Z}_m \\ \dot{Z}_m & \dot{Z}_m & \dot{Z}_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \\ &= \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{Z}_s + 2\dot{Z}_m & \dot{Z}_s + (a^2 + a)\dot{Z}_m & \dot{Z}_s + (a + a^2)\dot{Z}_m \\ \dot{Z}_s + 2\dot{Z}_m & a^2\dot{Z}_s + (1 + a)\dot{Z}_m & a\dot{Z}_s + (1 + a^2)\dot{Z}_m \\ \dot{Z}_s + 2\dot{Z}_m & a\dot{Z}_s + (1 + a^2)\dot{Z}_m & a^2\dot{Z}_s + (1 + a)\dot{Z}_m \end{bmatrix}\end{aligned}$$

対称座標法

- インピーダンス行列の扱い
 - 送電線路の場合

$$\dot{Z}_{00} = \frac{1}{3}[(\dot{Z}_s + 2\dot{Z}_m) + (\dot{Z}_s + 2\dot{Z}_m) + (\dot{Z}_s + 2\dot{Z}_m)] = \dot{Z}_s + 2\dot{Z}_m$$

$$\begin{aligned}\dot{Z}_{01} &= \frac{1}{3}[\{\dot{Z}_s + (a^2 + a)\dot{Z}_m\} + \{a^2\dot{Z}_s + (1+a)\dot{Z}_m\} + \{a\dot{Z}_s + (1+a^2)\dot{Z}_m\}] \\ &= \frac{1}{3}[(1+a^2+a)\dot{Z}_s + (a^2+a+1+a+1+a^2)\dot{Z}_m] = 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{Z}_{02} &= \frac{1}{3}[\{\dot{Z}_s + (a+a^2)\dot{Z}_m\} + \{a\dot{Z}_s + (1+a^2)\dot{Z}_m\} + \{a^2\dot{Z}_s + (1+a)\dot{Z}_m\}] \\ &= \frac{1}{3}[(1+a+a^2)\dot{Z}_s + \{a+a^2+1+a^2+1+a\}\dot{Z}_m] = 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{Z}_{10} &= \frac{1}{3}[\{\dot{Z}_s + 2\dot{Z}_m\} + a\{\dot{Z}_s + 2\dot{Z}_m\} + a^2\{\dot{Z}_s + 2\dot{Z}_m\}] \\ &= \frac{1}{3}(1+a+a^2)(\dot{Z}_s + 2\dot{Z}_m) = 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{Z}_{11} &= \frac{1}{3}[\{\dot{Z}_s + (a^2+a)\dot{Z}_m\} + a\{a^2\dot{Z}_s + (1+a)\dot{Z}_m\} + a^2\{a\dot{Z}_s + (1+a^2)\dot{Z}_m\}] \\ &= \frac{1}{3}[(1+a^3+a^3)\dot{Z}_s + (a^2+a+a+a^2+a^2+a^4)\dot{Z}_m] = \frac{1}{3}[3\dot{Z}_s - 3\dot{Z}_m] = \dot{Z}_s - \dot{Z}_m\end{aligned}$$

対称座標法

- インピーダンス行列の扱い
 - 送電線路の場合

$$\begin{aligned}\dot{Z}_{12} &= \frac{1}{3}[\{\dot{Z}_s + (a+a^2)\dot{Z}_m\} + a\{a\dot{Z}_s + (1+a^2)\dot{Z}_m\} + a^2\{a^2\dot{Z}_s + (1+a)\dot{Z}_m\}] \\ &= \frac{1}{3}[(1+a^2+a^4)\dot{Z}_s + (a+a^2+1+a^2+1+a)\dot{Z}_m] = 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{Z}_{20} &= \frac{1}{3}[\{\dot{Z}_s + 2\dot{Z}_m\} + a^2\{\dot{Z}_s + 2\dot{Z}_m\} + a\{\dot{Z}_s + 2\dot{Z}_m\}] \\ &= \frac{1}{3}(1+a^2+a)(\dot{Z}_s + 2\dot{Z}_m) = 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{Z}_{21} &= \frac{1}{3}[\{\dot{Z}_s + (a^2+a)\dot{Z}_m\} + a^2\{a^2\dot{Z}_s + (1+a)\dot{Z}_m\} + a\{a\dot{Z}_s + (1+a^2)\dot{Z}_m\}] \\ &= \frac{1}{3}[(1+a^4+a^2)\dot{Z}_s + (a^2+a+a^2+a^3+a+a^3)\dot{Z}_m] = 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{Z}_{22} &= \frac{1}{3}[\{\dot{Z}_s + (a+a^2)\dot{Z}_m\} + a^2\{a\dot{Z}_s + (1+a^2)\dot{Z}_m\} + a\{a^2\dot{Z}_s + (1+a)\dot{Z}_m\}] \\ &= \frac{1}{3}[(1+a^3+a^3)\dot{Z}_s + (a+a^2+a^2+a^4+a+a^2)\dot{Z}_m] = \frac{1}{3}[3\dot{Z}_s - 3\dot{Z}_m] = \dot{Z}_s - \dot{Z}_m\end{aligned}$$

対称座標法

- インピーダンス行列の扱い
 - 送電線路の場合
 - 送電線インピーダンスの対称座標表示

$$\begin{bmatrix} \dot{Z}_{00} & \dot{Z}_{01} & \dot{Z}_{02} \\ \dot{Z}_{10} & \dot{Z}_{11} & \dot{Z}_{12} \\ \dot{Z}_{20} & \dot{Z}_{21} & \dot{Z}_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_s + 2\dot{Z}_m & 0 & 0 \\ 0 & \dot{Z}_s - \dot{Z}_m & 0 \\ 0 & 0 & \dot{Z}_s - \dot{Z}_m \end{bmatrix}$$

- インピーダンスの対称座標成分は対角項のみ
- 零相, 正相, 逆相が互いに干渉しない
- アドミタンスでも同様

対称座標法

- インピーダンス行列の扱い
 - 送電線路の場合

$$\begin{cases} \dot{Z}_0 = \dot{Z}_s + 2\dot{Z}_m \\ \dot{Z}_1 = \dot{Z}_s - \dot{Z}_m \\ \dot{Z}_2 = \dot{Z}_s - \dot{Z}_m \end{cases} \quad \dot{Z}_0 > \dot{Z}_1 = \dot{Z}_2$$
 - 対称分の各相を独立に表現可能 絵
 - 零相回路 $\dot{V}_0 = \dot{Z}_0 \dot{I}_0$
 - 正相回路 $\dot{V}_1 = \dot{Z}_1 \dot{I}_1$
 - 逆相回路 $\dot{V}_2 = \dot{Z}_2 \dot{I}_2$
 - » 送電線の回路が簡単に描けるようになったでえ

対称座標法

- 電力回路で用いる機器の対称座標表示
 - 負荷

- 三相平衡な場合

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{aa} & \dot{Z}_{ab} & \dot{Z}_{ac} \\ \dot{Z}_{ba} & \dot{Z}_{bb} & \dot{Z}_{bc} \\ \dot{Z}_{ca} & \dot{Z}_{cb} & \dot{Z}_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_s & \dot{Z}_m & \dot{Z}_m \\ \dot{Z}_m & \dot{Z}_s & \dot{Z}_m \\ \dot{Z}_m & \dot{Z}_m & \dot{Z}_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix}$$

- 対称座標表示

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{00} & \dot{Z}_{01} & \dot{Z}_{02} \\ \dot{Z}_{10} & \dot{Z}_{11} & \dot{Z}_{12} \\ \dot{Z}_{20} & \dot{Z}_{21} & \dot{Z}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_0 \\ \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_s + 2\dot{Z}_m & 0 & 0 \\ 0 & \dot{Z}_s - \dot{Z}_m & 0 \\ 0 & 0 & \dot{Z}_s - \dot{Z}_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_0 \\ \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix}$$

不平衡な場合は→密になる

対称座標法

- 電力回路で用いる機器の対称座標表示
 - 発電機

- 回路図
 - 三相平衡な内部電圧源を持つ
 - 三相平衡な内部インピーダンスを持つ
 - 接地インピーダンス $\dot{Z}_n$ で中性点接地されている

$$\begin{bmatrix} \dot{E}_a \\ \dot{E}_b \\ \dot{E}_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{V}_n \\ \dot{V}_n \\ \dot{V}_n \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_s & \dot{Z}_m & \dot{Z}_m \\ \dot{Z}_m & \dot{Z}_s & \dot{Z}_m \\ \dot{Z}_m & \dot{Z}_m & \dot{Z}_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix}$$

対称座標法

－ 発電機

・ 内部起電力

$$\begin{cases} \dot{E}_a = \dot{E} \\ \dot{E}_b = a^2 \dot{E} \\ \dot{E}_c = a \dot{E} \end{cases} \quad \begin{bmatrix} \dot{E}_0 \\ \dot{E}_1 \\ \dot{E}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{E}_a \\ \dot{E}_b \\ \dot{E}_c \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{E} \\ a^2 \dot{E} \\ a \dot{E} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{E} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

・ 中性点電圧

$$\dot{V}_n = \dot{Z}_n (-\dot{I}_a - \dot{I}_b - \dot{I}_c) = \dot{Z}_n (-3\dot{I}_0)$$

・ 出力電圧・電流

$$[\dot{V}_a \dot{V}_b \dot{V}_c] \Rightarrow [\dot{V}_0 \dot{V}_1 \dot{V}_2] \quad [\dot{I}_a \dot{I}_b \dot{I}_c] \Rightarrow [\dot{I}_0 \dot{I}_1 \dot{I}_2]$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ \dot{E} \\ 0 \end{bmatrix} - 3 \begin{bmatrix} \dot{Z}_n \dot{I}_0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_0 & 0 & 0 \\ 0 & \dot{Z}_1 & 0 \\ 0 & 0 & \dot{Z}_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_0 \\ \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} \quad \text{零・正・逆相別の回路図}$$

対称座標法

・ 電力回路で用いる機器の対称座標表示

－ 変圧器

・ 単相変圧器

－ 等価回路図

» 漏れインピーダンス

» 励磁インピーダンス

－ 単位法により変圧器によって基準電圧が変わっても容易に取扱い可能

・ 三相変圧器

－ 結線方式

» YΔ

» ΔΔ

» YY (Δ)

対称座標法

- 電力回路で用いる機器の対称座標表示
 - 変圧器

- Δ結線の扱い

– 線間電圧の取扱い

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} \dot{V}_{ab} \\ \dot{V}_{bc} \\ \dot{V}_{ca} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \\ \dot{V}_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix} \quad \left| \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \right| = 0 \quad \begin{array}{l} \text{なので} \\ \text{逆変換} \\ \text{は無い} \end{array}
 \end{aligned}$$

対称座標法

- 変圧器

- Δ結線の扱い

– 線間電圧の対称座標表示

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} \dot{V}_{\Delta 0} \\ \dot{V}_{\Delta 1} \\ \dot{V}_{\Delta 2} \end{bmatrix} &= \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_{ab} \\ \dot{V}_{bc} \\ \dot{V}_{ca} \end{bmatrix} \quad \text{但し } a = \exp(j \frac{2}{3} p) \\
 &= \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix} \\
 &= \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

対称座標法

– 変圧器

• Δ結線の扱い

– 線間電圧の対称座標表示のつづき

但し $a = \exp(j\frac{2}{3}p)$

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{V}_{\Delta 0} \\ \dot{V}_{\Delta 1} \\ \dot{V}_{\Delta 2} \end{bmatrix} &= \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1-a^2 & 1-a \\ 0 & a^2-a & a-a^2 \\ 0 & -1+a & -1+a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix} \\ &= \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 0 & 1-a^2+a^2-a-1+a & 1-a+a-a^2-1+a^2 \\ 0 & 1-a^2+a^3-a^2-a^2+a^3 & 1-a+a^2-a^3-a^2+a^4 \\ 0 & 1-a^2+a^4-a^3-a+a^2 & 1-a+a^3-a^4-a+a^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix} \\ &= \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3-3a^2 & 0 \\ 0 & 0 & 3-3a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1-a^2 & 0 \\ 0 & 0 & 1-a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

対称座標法

– 変圧器

• Δ結線の扱い

– 線間電圧の対称座標表示のさいご

但し $a = \exp(j\frac{2}{3}p)$

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{\Delta 0} \\ \dot{V}_{\Delta 1} \\ \dot{V}_{\Delta 2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1-a^2 & 0 \\ 0 & 0 & 1-a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix} \quad \text{不可逆変換}$$

» 零相電圧 → 0

$$\dot{V}_{\Delta 0} = \dot{V}_0$$

» 正相電圧 → 相電圧を $\sqrt{3}$ 倍し, 位相を $\pi/6$ 進めた

$$\dot{V}_{\Delta 1} = (1-a^2)\dot{V}_1 = \left(1 + \frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\dot{V}_1 = \sqrt{3}\left(\frac{\sqrt{3}}{2} + j\frac{1}{2}\right)\dot{V}_1 = \sqrt{3}\exp(j\frac{\pi}{6})\dot{V}_1$$

» 逆相電圧 → 相電圧を $\sqrt{3}$ 倍し, 位相を $\pi/6$ 遅らせた

$$\dot{V}_{\Delta 2} = (1-a)\dot{V}_2 = \left(1 + \frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\dot{V}_2 = \sqrt{3}\left(\frac{\sqrt{3}}{2} - j\frac{1}{2}\right)\dot{V}_2 = \sqrt{3}\exp(-j\frac{\pi}{6})\dot{V}_2$$

対称座標法

– 変圧器

• Δ結線の扱い

– 端子電流について

» 回路図

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{I}_{ab} \\ \dot{I}_{bc} \\ \dot{I}_{ca} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \dot{I}_{ca} \\ \dot{I}_{ab} \\ \dot{I}_{bc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{ab} \\ \dot{I}_{bc} \\ \dot{I}_{ca} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{ab} \\ \dot{I}_{bc} \\ \dot{I}_{ca} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{ab} \\ \dot{I}_{bc} \\ \dot{I}_{ca} \end{bmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{vmatrix} = 0$$

なので逆変換は無く、端子電流から
巻線電流は一意に定まらない

対称座標法

– 変圧器

• Δ結線の扱い

– 端子電流についてつづき

» 電圧と同様に端子電流・巻線電流を対称座標表示

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_0 \\ \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix} \quad \text{但し } a = \exp(j\frac{2}{3}p)$$

$$= \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{ab} \\ \dot{I}_{bc} \\ \dot{I}_{ca} \end{bmatrix}$$

$$= \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{\Delta 0} \\ \dot{I}_{\Delta 1} \\ \dot{I}_{\Delta 2} \end{bmatrix}$$

対称座標法

– 変圧器

• Δ結線の扱い

– 端子電流についてつづきのつづき

» 続電圧と同様に端子電流・巻線電流を対称座標表示

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{I}_0 \\ \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} &= \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1-a & 1-a^2 \\ 0 & -1+a^2 & -1+a \\ 0 & -a^2+a & -a+a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{\Delta 0} \\ \dot{I}_{\Delta 1} \\ \dot{I}_{\Delta 2} \end{bmatrix} \quad \text{但し } a = \exp(j\frac{2}{3}p) \\ &= \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 0 & 1-a & -1+a^2 & -a^2+a & 1-a^2 & -1+a & -a+a^2 \\ 0 & 1-a & -a+a^3 & -a^4+a^3 & 1-a^2 & -a+a^2 & -a^3+a^4 \\ 0 & 1-a & -a^2+a^4 & -a^3+a^2 & 1-a^2 & -a^2+a^3 & -a^2+a^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{\Delta 0} \\ \dot{I}_{\Delta 1} \\ \dot{I}_{\Delta 2} \end{bmatrix} \\ &= \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3-3a & 0 \\ 0 & 0 & 3-3a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{\Delta 0} \\ \dot{I}_{\Delta 1} \\ \dot{I}_{\Delta 2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1-a & 0 \\ 0 & 0 & 1-a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{\Delta 0} \\ \dot{I}_{\Delta 1} \\ \dot{I}_{\Delta 2} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

対称座標法

– 変圧器

• Δ結線の扱い

– 端子電流についてのおわり

» 端子電流の対称座標表示

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_0 \\ \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1-a & 0 \\ 0 & 0 & 1-a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{\Delta 0} \\ \dot{I}_{\Delta 1} \\ \dot{I}_{\Delta 2} \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{但し } a = \exp(j\frac{2}{3}p) \\ \text{不可逆変換} \end{array}$$

» 端子電流に零相電流は流れない

対称座標法

– 変圧器

• YΔ結線変圧器

– 相座標系での回路方程式 絵

» 一次巻線側 KVL

$$\begin{cases} \dot{V}_{pa} = \dot{E}_{pa} + \dot{Z}_p \dot{I}_{pa} + \dot{Z}_n (\dot{I}_{pa} + \dot{I}_{pb} + \dot{I}_{pc}) \\ \dot{V}_{pb} = \dot{E}_{pb} + \dot{Z}_p \dot{I}_{pb} + \dot{Z}_n (\dot{I}_{pa} + \dot{I}_{pb} + \dot{I}_{pc}) \\ \dot{V}_{pc} = \dot{E}_{pc} + \dot{Z}_p \dot{I}_{pc} + \dot{Z}_n (\dot{I}_{pa} + \dot{I}_{pb} + \dot{I}_{pc}) \end{cases}$$

» 二次巻線側 KCL

$$\begin{cases} \dot{I}_{sa} = \dot{I}_{sba} - \dot{I}_{sac} = \frac{1}{n} (\dot{I}_{pa} - \dot{I}_{pc}) \\ \dot{I}_{sb} = \dot{I}_{scb} - \dot{I}_{sba} = \frac{1}{n} (\dot{I}_{pb} - \dot{I}_{pa}) \\ \dot{I}_{sc} = \dot{I}_{sac} - \dot{I}_{scb} = \frac{1}{n} (\dot{I}_{pc} - \dot{I}_{pb}) \end{cases}$$

対称座標法

– 変圧器

• YΔ結線変圧器

– 相座標系での回路方程式

» 二次巻線側 KVL

$$\begin{cases} \dot{V}_{sab} = \dot{E}_{sab} - \dot{Z}_s \dot{I}_{sba} = n\dot{E}_{pa} - \dot{Z}_s \frac{1}{n} \dot{I}_{pa} \\ \dot{V}_{sbc} = \dot{E}_{sbc} - \dot{Z}_s \dot{I}_{scb} = n\dot{E}_{pb} - \dot{Z}_s \frac{1}{n} \dot{I}_{pb} \\ \dot{V}_{sca} = \dot{E}_{sca} - \dot{Z}_s \dot{I}_{sac} = n\dot{E}_{pc} - \dot{Z}_s \frac{1}{n} \dot{I}_{pc} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \dot{E}_{pa} = \frac{1}{n} \dot{V}_{sab} + \dot{Z}_s \frac{1}{n^2} \dot{I}_{pa} \\ \dot{E}_{pb} = \frac{1}{n} \dot{V}_{sbc} + \dot{Z}_s \frac{1}{n^2} \dot{I}_{pb} \\ \dot{E}_{pc} = \frac{1}{n} \dot{V}_{sca} + \dot{Z}_s \frac{1}{n^2} \dot{I}_{pc} \end{cases} \Rightarrow \text{一次側に代入}$$

対称座標法

– 変圧器

• YΔ結線変圧器

– 相座標系での回路方程式

» 一次巻線側 KVL

$$\begin{cases} \dot{V}_{pa} = \frac{1}{n} \dot{V}_{sab} + \dot{Z}_s \frac{1}{n^2} \dot{I}_{pa} + \dot{Z}_p \dot{I}_{pa} + \dot{Z}_n (\dot{I}_{pa} + \dot{I}_{pb} + \dot{I}_{pc}) \\ \dot{V}_{pb} = \frac{1}{n} \dot{V}_{sbc} + \dot{Z}_s \frac{1}{n^2} \dot{I}_{pb} + \dot{Z}_p \dot{I}_{pb} + \dot{Z}_n (\dot{I}_{pa} + \dot{I}_{pb} + \dot{I}_{pc}) \\ \dot{V}_{pc} = \frac{1}{n} \dot{V}_{sca} + \dot{Z}_s \frac{1}{n^2} \dot{I}_{pc} + \dot{Z}_p \dot{I}_{pc} + \dot{Z}_n (\dot{I}_{pa} + \dot{I}_{pb} + \dot{I}_{pc}) \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} \dot{V}_{pa} \\ \dot{V}_{pb} \\ \dot{V}_{pc} \end{bmatrix} = \frac{1}{n} \begin{bmatrix} \dot{V}_{sab} \\ \dot{V}_{sbc} \\ \dot{V}_{sca} \end{bmatrix} + \left(\dot{Z}_s \frac{1}{n^2} + \dot{Z}_p \right) \begin{bmatrix} \dot{I}_{pa} \\ \dot{I}_{pb} \\ \dot{I}_{pc} \end{bmatrix} + \dot{Z}_n \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{pa} \\ \dot{I}_{pb} \\ \dot{I}_{pc} \end{bmatrix}$$

対称座標法

– 変圧器

• YΔ結線変圧器

– 対称座標変換する

$$\text{但し } a = \exp(j \frac{2}{3} p) \quad T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{pa} \\ \dot{V}_{pb} \\ \dot{V}_{pc} \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} \dot{V}_{p0} \\ \dot{V}_{p1} \\ \dot{V}_{p2} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \dot{V}_{sab} \\ \dot{V}_{sbc} \\ \dot{V}_{sca} \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} \dot{V}_{\Delta s0} \\ \dot{V}_{\Delta s1} \\ \dot{V}_{\Delta s2} \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1-a & 0 \\ 0 & 0 & 1-a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_{s0} \\ \dot{V}_{s1} \\ \dot{V}_{s2} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{pa} \\ \dot{I}_{pb} \\ \dot{I}_{pc} \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} \dot{I}_{p0} \\ \dot{I}_{p1} \\ \dot{I}_{p2} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{pa} \\ \dot{I}_{pb} \\ \dot{I}_{pc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} T \begin{bmatrix} \dot{I}_{p0} \\ \dot{I}_{p1} \\ \dot{I}_{p2} \end{bmatrix} = 3 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{p0} \\ \dot{I}_{p1} \\ \dot{I}_{p2} \end{bmatrix}$$

より

対称座標法

－ 変圧器

• YΔ結線変圧器 但し $a = \exp(j\frac{2}{3}p)$

－ 対称座標変換する

$$T \begin{bmatrix} \dot{V}_{p0} \\ \dot{V}_{p1} \\ \dot{V}_{p2} \end{bmatrix} = \frac{1}{n} T \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1-a & 0 \\ 0 & 0 & 1-a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_{s0} \\ \dot{V}_{s1} \\ \dot{V}_{s2} \end{bmatrix} + \left(\dot{Z}_s \frac{1}{n^2} + \dot{Z}_p \right) T \begin{bmatrix} \dot{I}_{p0} \\ \dot{I}_{p1} \\ \dot{I}_{p2} \end{bmatrix} + \dot{Z}_n 3 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{p0} \\ \dot{I}_{p1} \\ \dot{I}_{p2} \end{bmatrix}$$

» 両辺にT⁻¹を左から掛けて

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{p0} \\ \dot{V}_{p1} \\ \dot{V}_{p2} \end{bmatrix} = \frac{1}{n} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1-a & 0 \\ 0 & 0 & 1-a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_{s0} \\ \dot{V}_{s1} \\ \dot{V}_{s2} \end{bmatrix} + \left(\dot{Z}_s \frac{1}{n^2} + \dot{Z}_p \right) \begin{bmatrix} \dot{I}_{p0} \\ \dot{I}_{p1} \\ \dot{I}_{p2} \end{bmatrix} + \dot{Z}_n 3T^{-1} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{p0} \\ \dot{I}_{p1} \\ \dot{I}_{p2} \end{bmatrix}$$

対称座標法

－ 変圧器

• YΔ結線変圧器 但し $a = \exp(j\frac{2}{3}p)$

－ 対称座標変換する

$$T^{-1} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{p0} \\ \dot{V}_{p1} \\ \dot{V}_{p2} \end{bmatrix} = \frac{1}{n} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1-a & 0 \\ 0 & 0 & 1-a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_{s0} \\ \dot{V}_{s1} \\ \dot{V}_{s2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{Z}_s \frac{1}{n^2} + \dot{Z}_p + 3\dot{Z}_n & 0 & 0 \\ 0 & \dot{Z}_s \frac{1}{n^2} + \dot{Z}_p & 0 \\ 0 & 0 & \dot{Z}_s \frac{1}{n^2} + \dot{Z}_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{p0} \\ \dot{I}_{p1} \\ \dot{I}_{p2} \end{bmatrix}$$

$$\dot{V}_{p0} = (\dot{Z}_s \frac{1}{n^2} + \dot{Z}_p + 3\dot{Z}_n) \dot{I}_{p0}$$

$$\dot{V}_{p1} = \frac{1}{n}(1-a)\dot{V}_{s1} + (\dot{Z}_s \frac{1}{n^2} + \dot{Z}_p) \dot{I}_{p1}$$

$$\dot{V}_{p2} = \frac{1}{n}(1-a^2)\dot{V}_{s2} + (\dot{Z}_s \frac{1}{n^2} + \dot{Z}_p) \dot{I}_{p2}$$



各対称成分に分離
等価回路図