

電力回路

第10回目

対称座標法 1

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)

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

- 対称座標系(0,1,2) → 相座標系(a,b,c)

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

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

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

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

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

と表せる

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

対称座標法

- インピーダンス行列の扱い

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

- アドミタンス行列の扱い

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

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
 - 自己インダクタクス $L_{aa} \cong L_{bb} \cong L_{cc}$
 - 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

$$\dot{Z}_s \equiv \dot{Z}_{aa} \cong \dot{Z}_{bb} \cong \dot{Z}_{cc}$$

$$\dot{Z}_m \equiv \dot{Z}_{ab} \cong \dot{Z}_{ba} \cong \dot{Z}_{bc} \cong \dot{Z}_{cb} \cong \dot{Z}_{ca} \cong \dot{Z}_{ac}$$

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

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

- ・インピーダンス行列の扱い
 - 対称分の各相を独立に表現可能

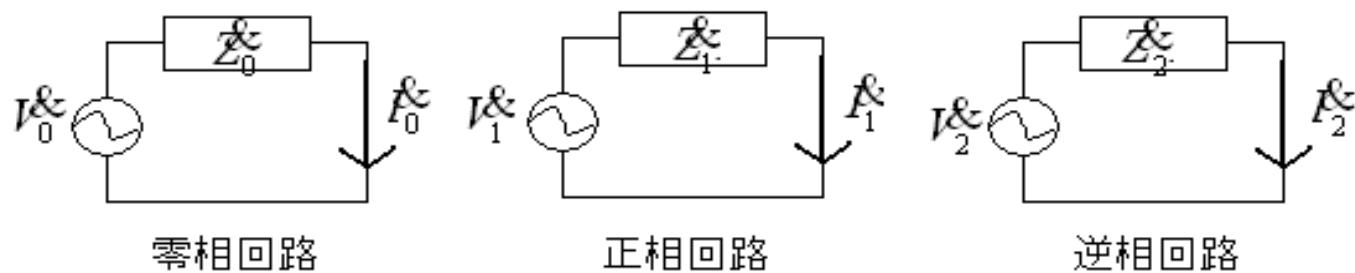


図1 対称分の各相を独立に表現可能

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

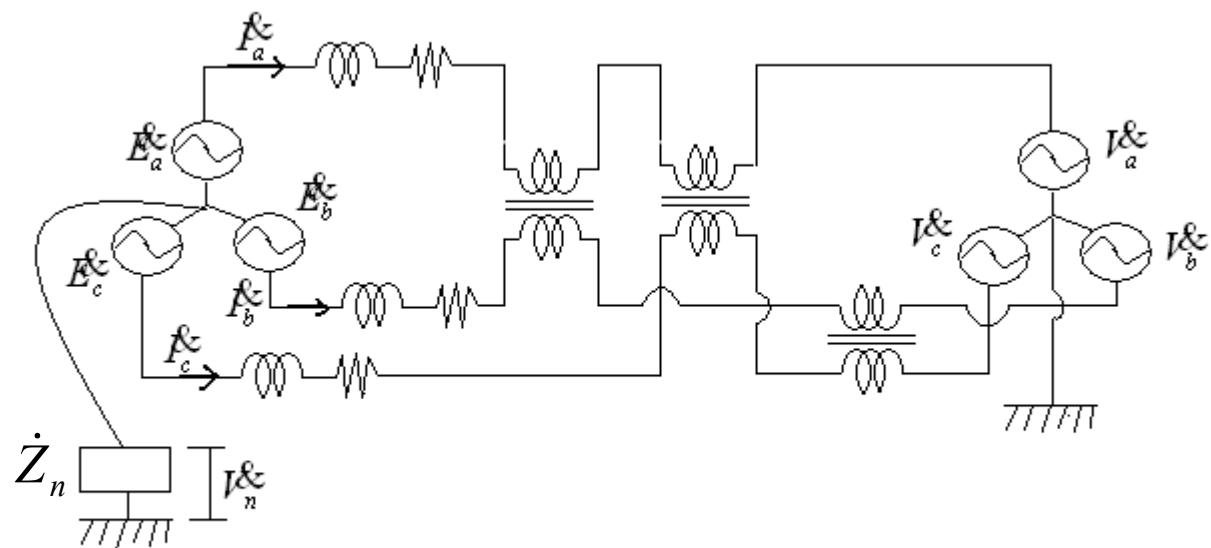


図2 発電機の対称座標表示

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
 - 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

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

- 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

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

$$\begin{bmatrix} 0 \\ \dot{E} \\ 0 \end{bmatrix} - 3 \begin{bmatrix} \dot{Z}_n \dot{I}_0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_0 & 0 & 0 \\ 0 & \dot{Z}_1 & 0 \\ 0 & 0 & \dot{Z}_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_0 \\ \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix}$$

対称座標法

– 発電機

零・正・逆相別の回路図

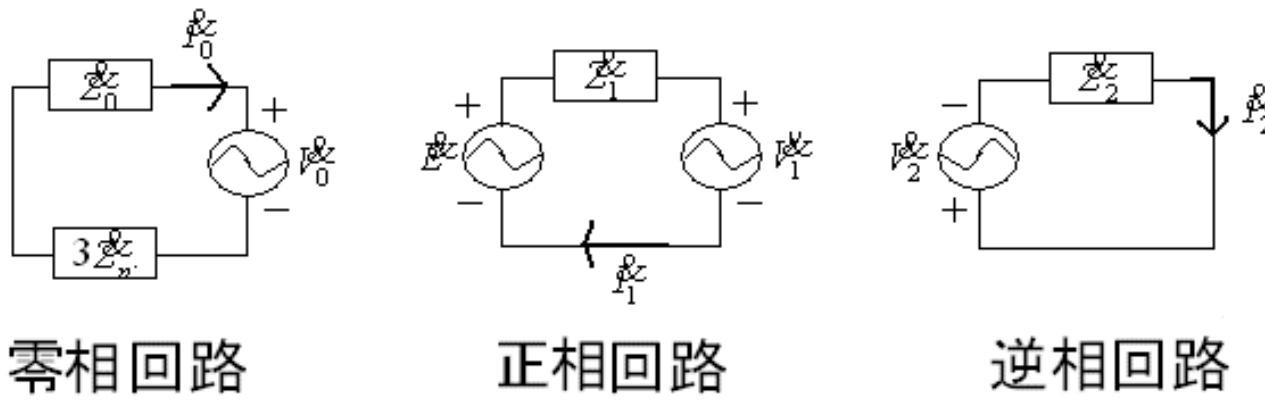


図3 零・正・逆相回路

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
 - » $Y\Delta$
 - » $\Delta\Delta$
 - » $YY(\Delta)$

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
 - △結線の扱い
 - 線間電圧の取扱い

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

$$= \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{vmatrix} = 0 \quad \text{なので逆変換は無い}$$

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

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{\Delta 0} \\ \dot{V}_{\Delta 1} \\ \dot{V}_{\Delta 2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_{ab} \\ \dot{V}_{bc} \\ \dot{V}_{ca} \end{bmatrix}$$

但し $\alpha = \exp(j \frac{2}{3}\pi)$

$$= \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix}$$
$$= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1-\alpha^2 & 0 \\ 0 & 0 & 1-\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix}$$

対称座標法

– 変圧器

• △結線の扱い

– 線間電圧の対称座標表示のさいご

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{\Delta 0} \\ \dot{V}_{\Delta 1} \\ \dot{V}_{\Delta 2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1-\alpha^2 & 0 \\ 0 & 0 & 1-\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix}$$

但し $\alpha = \exp(j \frac{2}{3}\pi)$

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

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

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

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

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

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

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

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_0 \\ \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1-\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1-\alpha^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{\Delta 0} \\ \dot{I}_{\Delta 1} \\ \dot{I}_{\Delta 2} \end{bmatrix}$$

但し $\alpha = \exp(j \frac{2}{3}\pi)$
不可逆変換

- » 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

- » 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

 - » 一次巻線側 KVL

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

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