電力システム解析論

第8回

対称座標法

平成20年11月28日

単位法による表示

- ベース電力，ベース電圧を決めると，ベース電流，ベースインピーダンスが求まる

$$\text{ベース電流}(A) = \frac{\text{ベース電力}(VA,\text{単相})}{\text{ベース相電圧}(V)} = \frac{\text{ベース電力}(VA,\text{三相})}{\sqrt{3}\times\text{ベース線間電圧}(V)}$$

$$\text{ベースインピーダンス}(\Omega) = \frac{\left[\text{ベース相電圧}(V)\right]^2}{\text{ベース電力}(VA,\text{単相})}$$

$$= \frac{\left[\text{ベース線間電圧}(V)\right]^2}{\text{ベース電力}(VA,\text{三相})}$$

- 単位値は，実値をベース値で割って得る

電力回路の位置づけ

- 周期関数は三角関数の合成（無限級数）で表せる
  - フーリェ級数展開
    - フーリェ係数

$$a_k = \frac{2}{T}\int_0^T x(t)\cos k\omega t dt \qquad a_0 = \frac{1}{T}\int_0^T x(t) dt$$

$$b_k = \frac{2}{T}\int_0^T x(t)\sin k\omega t dt$$

    - フーリェ級数で表したフーリェ多項式

$$x(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty}\left(a_k \cos k\omega t + b_k \sin k\omega t\right)$$

複素数形式
(複素フーリェ級数)

$$x(t) = a_0/2 + \sum_{k=-\infty}^{\infty}\alpha_n e^{inx} \qquad \alpha_k = \frac{2}{T}\int_0^T x(t)e^{-ik\omega t}dt$$

  - 直流分，基本波分，高調波分として表せる

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

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{ab} \\ \dot{V}_{bc} \\ \dot{V}_{ca} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{V}_{a} \\ \dot{V}_{b} \\ \dot{V}_{c} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \dot{V}_{b} \\ \dot{V}_{c} \\ \dot{V}_{a} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_{a} \\ \dot{V}_{b} \\ \dot{V}_{c} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_{a} \\ \dot{V}_{b} \\ \dot{V}_{c} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_{a} \\ \dot{V}_{b} \\ \dot{V}_{c} \end{bmatrix} \qquad \begin{vmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{vmatrix} = 0$$

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 $\alpha = \exp\left(j \tfrac{2}{3} \pi\right)$

$$= \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_{a} \\ \dot{V}_{b} \\ \dot{V}_{c} \end{bmatrix}$$

$$= \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_{0} \\ \dot{V}_{1} \\ \dot{V}_{2} \end{bmatrix}$$

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 $\alpha = \exp\left(j\frac{2}{3}\pi\right)$

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

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

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

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 $\alpha = \exp\left(j\frac{2}{3}\pi\right)$

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

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√3倍し，位相をπ/6進めた

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

» 逆相電圧 → 相電圧を√3倍し，位相をπ/6遅らせた

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

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

但し $\alpha=\exp\left(j\frac{2}{3}\pi\right)$

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

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

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

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

$$\begin{bmatrix}\dot{I}_0\\ \dot{I}_1\\ \dot{I}_2\end{bmatrix}=\frac{1}{3}\begin{bmatrix}1&1&1\\1&\alpha&\alpha^2\\1&\alpha^2&\alpha\end{bmatrix}\begin{bmatrix}0&1-\alpha&1-\alpha^2\\0&-1+\alpha^2&-1+\alpha\\0&-\alpha^2+\alpha&-\alpha+\alpha^2\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot{I}_{\Delta 0}\\ \dot{I}_{\Delta 1}\\ \dot{I}_{\Delta 2}\end{bmatrix}$$

但し $\alpha=\exp\left(j\tfrac{2}{3}\pi\right)$

$$=\frac{1}{3}\begin{bmatrix}0&1-\alpha-1+\alpha^2-\alpha^2+\alpha&1-\alpha^2-1+\alpha-\alpha+\alpha^2\\0&1-\alpha-\alpha+\alpha^3-\alpha^4+\alpha^3&1-\alpha^2-\alpha+\alpha^2-\alpha^3+\alpha^4\\0&1-\alpha-\alpha^2+\alpha^4-\alpha^3+\alpha^2&1-\alpha^2-\alpha^2+\alpha^3-\alpha^2+\alpha^3\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot{I}_{\Delta 0}\\ \dot{I}_{\Delta 1}\\ \dot{I}_{\Delta 2}\end{bmatrix}$$

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

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 $\alpha=\exp\left(j\tfrac{2}{3}\pi\right)$

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　絵
      » 一次巻線側　KVL

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

      » 二次巻線側　KCL

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

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

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

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

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

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

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

対称座標法

– 変圧器

- YΔ結線変圧器
  - 対称座標変換する

但し $\alpha = \exp\left(j\frac{2}{3}\pi\right)$ $T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \end{bmatrix}$

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

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

より

対称座標法

– 変圧器

• YΔ結線変圧器　　但し　$\alpha = \exp\left(j\frac{2}{3}\pi\right)$

– 対称座標変換する

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

» 両辺にT^{-1}を左から掛けて

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

対称座標法

– 変圧器

• YΔ結線変圧器　　但し　$\alpha = \exp\left(j\frac{2}{3}\pi\right)$

– 対称座標変換する

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

より

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

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

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

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

各対称成分に分離
等価回路図