電力回路

第12回目

クラーク座標法
故障計算

クラーク座標法
α-β-0変換

- 対称座標法
  - 零，正，逆相
  - 変換に複素ベクトルを用いる
    - 交流回路（単一周波数）解析に適している
    - 実波形への適用が煩雑
      - 実波形を複素回転ベクトルに変換する必要あり
- クラーク座標法
  - α，β，0成分
  - 変換は実数で行なう
    - 状態変数（電圧・電流等）は実数でも複素数でも可
      - 実波形の変換が簡単
    - 過渡解析への適用が容易

クラーク座標法によるα-β-0変換

- 変換式
  - 順変換

$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \\ V_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \\ I_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

  - 逆変換

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \\ V_0 \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \\ I_0 \end{bmatrix}$$

  - 変換行列は実数行列
    - V_a, V_b, V_cが実数ならV_α, V_β, V_0も実数
    - V_a, V_b, V_cが複素数ならV_α, V_β, V_0も複素数

    状態変数が実数・複素ベクトルどちらにも対応可能

クラーク座標法によるα-β-0変換

- 変換式の意味

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \\ I_0 \end{bmatrix}$$

  - 各成分
    - α相成分
      - A相に含まれる成分の-1/2がB,C相に分配される
        - » A相にα成分が注入され，B,C相から半分ずつ帰って来る
    - β相成分
      - B相に√3/2倍が注入され，C相から帰ってくる
    - 0相成分
      - A, B, C相各相に均等に流れる，大地から帰ってくる
      - 対称座標法の零相と同じ定義

クラーク座標法によるα-β-0変換

- 三相平衡な電圧（実値）を変換してみる

$$\begin{cases} v_a = V\sin\omega t \\ v_b = V\sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right) \\ v_c = V\sin\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi\right) \end{cases}$$

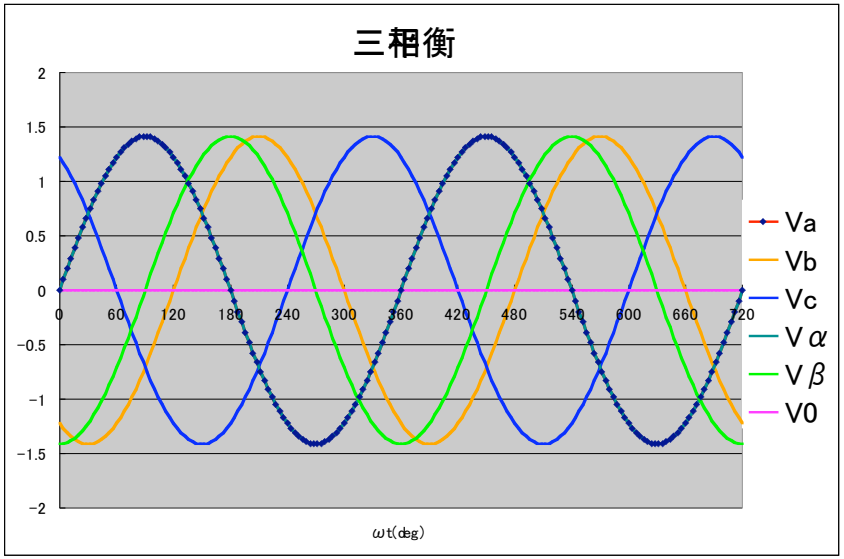
$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \\ v_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix}$$

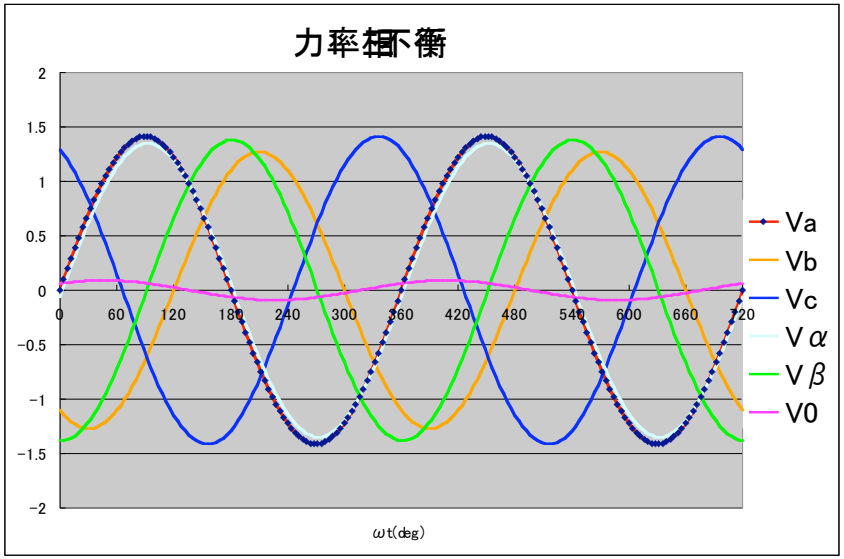
$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \\ v_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} V\sin\omega t \\ V\sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right) \\ V\sin\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi\right) \end{bmatrix}$$

$$= V\begin{bmatrix} \sin\omega t \\ -\cos\omega t \\ 0 \end{bmatrix}$$

← βはαの90度遅れ

クラーク座標変換（α β変換）





クラーク座標法によるα-β-0変換

- 三相平衡な電圧（複素ベクトル）を変換してみる

$$\begin{cases} \dot{V}_a = V \exp j\omega t \\ \dot{V}_b = V \exp j\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right) \\ \dot{V}_c = V \exp j\left(k\omega t + \frac{2}{3}\pi\right) \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_\alpha \\ \dot{V}_\beta \\ \dot{V}_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_\alpha \\ \dot{V}_\beta \\ \dot{V}_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} V \exp j\omega t \\ V \exp j\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right) \\ V \exp j\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi\right) \end{bmatrix}$$

$$= \frac{V \exp j\omega t}{3}\begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 \\ \alpha^2 \\ \alpha \end{bmatrix}$$

$$= V \exp j\omega t \begin{bmatrix} 1 \\ j \\ 0 \end{bmatrix}$$

← βはαの90度遅れ

対称座標法とクラーク座標法の比較

- 対称座標⇔クラーク座標変換

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

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

$$\begin{cases} \dot{V}_0 = \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 = \frac{1}{2}\left(\dot{V}_\alpha + j\dot{V}_\beta\right) \\ \dot{V}_2 = \frac{1}{2}\left(\dot{V}_\alpha - j\dot{V}_\beta\right) \end{cases} \qquad \begin{cases} \dot{V}_0 = \dot{V}_0 \\ \dot{V}_\alpha = \dot{V}_1 + \dot{V}_2 \\ \dot{V}_\beta = -j\left(\dot{V}_1 - \dot{V}_2\right) \end{cases}$$

クラーク座標におけるインピーダンス

- クラーク座標のインピーダンス

$$
\begin{bmatrix} \dot{V}_\alpha \\ \dot{V}_\beta \\ \dot{V}_0 \end{bmatrix}
=
\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \end{bmatrix}^{-1}
\begin{bmatrix} \dot{Z}_{aa} & \dot{Z}_{ab} & \dot{Z}_{ac} \\ \dot{Z}_{ba} & \dot{Z}_{bb} & \dot{Z}_{bc} \\ \dot{Z}_{ca} & \dot{Z}_{cb} & \dot{Z}_{cc} \end{bmatrix}
\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \end{bmatrix}
\begin{bmatrix} \dot{I}_\alpha \\ \dot{I}_\beta \\ \dot{I}_0 \end{bmatrix}
$$

$$
= \frac{1}{3}
\begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}
\begin{bmatrix} \dot{Z}_{aa} & \dot{Z}_{ab} & \dot{Z}_{ac} \\ \dot{Z}_{ba} & \dot{Z}_{bb} & \dot{Z}_{bc} \\ \dot{Z}_{ca} & \dot{Z}_{cb} & \dot{Z}_{cc} \end{bmatrix}
\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \end{bmatrix}
\begin{bmatrix} \dot{I}_\alpha \\ \dot{I}_\beta \\ \dot{I}_0 \end{bmatrix}
$$

クラーク座標におけるインピーダンス

- クラーク座標のインピーダンス

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

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_\alpha \\ \dot{V}_\beta \\ \dot{V}_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_s - \dot{Z}_m & 0 & 0 \\ 0 & \dot{Z}_s - \dot{Z}_m & 0 \\ 0 & 0 & \dot{Z}_s + 2\dot{Z}_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_\alpha \\ \dot{I}_\beta \\ \dot{I}_0 \end{bmatrix}$$

対称座標
と同じ形

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

対称座標による故障計算

- 機器（設備）のインピーダンス
  - 一回線架空送電線
    - 相座標
      - 架空線の性質 $\begin{cases} \dot{Z}_{aa} \cong \dot{Z}_{bb} \cong \dot{Z}_{cc} \equiv \dot{Z}_s \\ \dot{Z}_{ab} \cong \dot{Z}_{ba} \cong \dot{Z}_{bc} \cong \dot{Z}_{cb} \cong \dot{Z}_{ca} \cong \dot{Z}_{ac} \equiv \dot{Z}_m \end{cases}$

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

    - 対称座標

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{s0} \\ \dot{V}_{s1} \\ \dot{V}_{s2} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \dot{V}_{r0} \\ \dot{V}_{r1} \\ \dot{V}_{r2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{00} & \dot{Z}_{01} & \dot{Z}_{02} \\ \dot{Z}_{10} & \dot{Z}_{11} & \dot{Z}_{12} \\ \dot{Z}_{20} & \dot{Z}_{21} & \dot{Z}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_0 \\ \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_s + 2\dot{Z}_m & 0 & 0 \\ 0 & \dot{Z}_s - \dot{Z}_m & 0 \\ 0 & 0 & \dot{Z}_s - \dot{Z}_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_0 \\ \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix}$$

対称座標による故障計算

- 機器（設備）のインピーダンス
  - 同期発電機
    - 相座標
      - 内部インピーダンス
      - 起電力は三相平衡
      - 接地インピーダンス $\dot{Z}_n$

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

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{ta} \\ \dot{V}_{tb} \\ \dot{V}_{tc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{E}_a \\ \dot{E}_b \\ \dot{E}_c \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \dot{Z}_{aa} & \dot{Z}_{ab} & \dot{Z}_{ac} \\ \dot{Z}_{ba} & \dot{Z}_{bb} & \dot{Z}_{bc} \\ \dot{Z}_{ca} & \dot{Z}_{cb} & \dot{Z}_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{V}_n \\ \dot{V}_n \\ \dot{V}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{E} \\ \alpha^2 \dot{E} \\ \alpha \dot{E} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \dot{Z}_s & \dot{Z}_m & \dot{Z}_m \\ \dot{Z}_m & \dot{Z}_s & \dot{Z}_m \\ \dot{Z}_m & \dot{Z}_m & \dot{Z}_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{V}_n \\ \dot{V}_n \\ \dot{V}_n \end{bmatrix}$$

    - 対称座標

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{t0} \\ \dot{V}_{t1} \\ \dot{V}_{t2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{E}_1 \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \dot{Z}_s + 2\dot{Z}_m - 3\dot{Z}_n & 0 & 0 \\ 0 & \dot{Z}_s - \dot{Z}_m & 0 \\ 0 & 0 & \dot{Z}_s - \dot{Z}_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_0 \\ \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \dot{V}_n &= \dot{Z}_n \left(-\dot{I}_a - \dot{I}_b - \dot{I}_c \right) \\ &= -3\dot{Z}_n \dot{I}_0 \end{aligned}$$

対称座標による故障計算

- 機器（設備）のインピーダンス
  - 同期発電機
    - 対称座標

$$\begin{cases} \dot{Z}_0 = \dot{Z}_s + 2\dot{Z}_m - 3\dot{Z}_n \\ \dot{Z}_1 = \dot{Z}_s - \dot{Z}_m \\ \dot{Z}_2 = \dot{Z}_s - \dot{Z}_m \end{cases} \qquad \dot{Z}_1 = \dot{Z}_2$$

$$\begin{cases} \dot{V}_{t0} = -\dot{Z}_0 \dot{I}_0 \\ \dot{V}_{t1} = \dot{E}_1 - \dot{Z}_1 \dot{I}_1 \\ \dot{V}_{t2} = -\dot{Z}_2 \dot{I}_2 \end{cases}$$

対称座標による故障計算

- 機器（設備）のインピーダンス
  - 変圧器
    - 単相2巻線変圧器
      - インピーダンス
        - » 漏れインピーダンス
        - » 励磁インピーダンスは無視

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_p \\ \dot{V}_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{pp} & \dot{Z}_{ps} \\ \dot{Z}_{sp} & \dot{Z}_{ss} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_p \\ \dot{I}_s \end{bmatrix}$$

$$\dot{I}_p n_p + \dot{I}_s n_s = 0$$

$\dot{Z}_{pp}, \dot{Z}_{ss}$　1次，2次巻線の自己インピーダンス

$\dot{Z}_{ps}, \dot{Z}_{sp}$　1次，2次巻線間の相互インピーダンス

$$\dot{Z}_{ps} = \dot{Z}_{sp}$$

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
    - 単相2巻線変圧器
      - 単位法を考慮する
        - » 容量ベースは各巻線で同じ

$$VA_{Base} = V_{pBase} I_{pBase} = V_{sBase} I_{sBase}$$

        - » 電圧ベースは巻線数に比例

$$\frac{V_{pBase}}{n_p} = \frac{V_{sBase}}{n_s}$$

        - » 電流ベースは巻線数に反比例

$$I_{pBase} n_p = I_{sBase} n_s$$

        - » 単位化した表現

$$\begin{cases} \dot{V}_p = \overline{V}_p V_{pBase} \\ \dot{V}_s = \overline{V}_s V_{sBase} \end{cases} \qquad \begin{cases} \dot{I}_p = \overline{I}_p I_{pBase} = \overline{I}_p \dfrac{VA_{Base}}{V_{pBase}} \\ \dot{I}_s = \overline{I}_s I_{sBase} = \overline{I}_s \dfrac{VA_{Base}}{V_{sBase}} \end{cases}$$

対称座標による故障計算

- 機器（設備）のインピーダンス
  - 変圧器
    - 単相2巻線変圧器
      - 単位法で表す

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

$$\bar{Z}_{ps} = \bar{Z}_{sp}$$

$$\frac{V_{pBase}}{n_p} = \frac{V_{sBase}}{n_s}$$

$$\dot{I}_p n_p + \dot{I}_s n_s = \bar{I}_p \frac{VA_{Base}}{V_{pBase}} n_p + \bar{I}_s \frac{VA_{Base}}{V_{sBase}} n_s$$

$$= VA_{Base}\left[\bar{I}_p \frac{n_p}{V_{pBase}} + \bar{I}_s \frac{n_s}{V_{sBase}}\right] = \frac{VA_{Base} n_p}{V_{pBase}}\left[\bar{I}_p + \bar{I}_s\right] = 0$$

$$\bar{I}_p + \bar{I}_s = 0 \quad \Rightarrow \quad \bar{V}_p - \bar{V}_s = \left(\bar{Z}_{pp} - \bar{Z}_{ps} - \bar{Z}_{sp} + \bar{Z}_{ss}\right)\bar{I}_p = \left(\bar{Z}_{pp} + \bar{Z}_{ss} - 2\bar{Z}_{sp}\right)\bar{I}_p$$

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）

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

      - 電圧ベース（相，線間）

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

      - 電流ベース（相，線間？）

$$\sqrt{3}I_{llBase} = I_{PhBase} \qquad I_{PhBase} = \frac{VA_{1\phi Base}}{V_{PhBase}} = \frac{VA_{3\phi Base}}{\sqrt{3}V_{llBase}}$$

      - インピーダンスベース

$$Z_{PhBase} = \frac{V_{PhBase}}{I_{PhBase}} = \frac{V_{llBase}^{\ 2}}{VA_{3\phi Base}} \qquad Z_{llBase} = \frac{V_{llBase}}{I_{llBase}} = \frac{3V_{llBase}^{\ 2}}{VA_{3\phi Base}}$$