電力システム解析論

第7回　対称座標法

平成20年11月21日

三相交流回路

- 角周波数ω(基本波)の成分のみを考える
- 三相一回線送電線の回路
  - 回路方程式(複素インピーダンス)

$$\begin{cases} V_{1a} - V_{2a} = (R_a + j\omega L_{aa})I_a + j\omega L_{ab} I_b + j\omega L_{ac} I_c \\ V_{1b} - V_{2b} = (R_b + j\omega L_{bb})I_b + j\omega L_{ab} I_a + j\omega L_{bc} I_c \\ V_{1c} - V_{2c} = (R_c + j\omega L_{cc})I_c + j\omega L_{ca} I_a + j\omega L_{bc} I_b \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} V_{1a} \\ V_{1b} \\ V_{1c} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} V_{2a} \\ V_{2b} \\ V_{2c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_a + j\omega L_{aa} & j\omega L_{ab} & j\omega L_{ac} \\ j\omega L_{ab} & R_b + j\omega L_{bb} & j\omega L_{bc} \\ j\omega L_{ca} & j\omega L_{bc} & R_c + j\omega L_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

三相交流回路

- 三相一回線送電線の回路
  - インピーダンス

$$V_1 = \begin{bmatrix} V_{1a} \\ V_{1b} \\ V_{1c} \end{bmatrix} \qquad V_2 = \begin{bmatrix} V_{2a} \\ V_{2b} \\ V_{2c} \end{bmatrix} \qquad I_a = \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_a + j\omega L_{aa} & j\omega L_{ab} & j\omega L_{ac} \\ j\omega L_{ab} & R_b + j\omega L_{bb} & j\omega L_{bc} \\ j\omega L_{ca} & j\omega L_{bc} & R_c + j\omega L_{cc} \end{bmatrix}$$

$$V_1 - V_2 = ZI$$

三相交流回路

- 三相交流回路の特徴
  - 三相のインピーダンス
    - 相間の相互インダクタンスを考慮する必要が有る場合は複雑
    - 三相不平衡となる場合はさらに複雑

$$\begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} \end{bmatrix}$$

  - 三相平衡の特徴を利用
    - 対象座標変換

対称座標法

- 定義
  - 三相交流電圧・電流に対して次式で定義される
    - 零相 $\dot{V}_0 = \frac{1}{3}\left[\dot{V}_a + \dot{V}_b + \dot{V}_c\right]$ $\quad \dot{I}_0 = \frac{1}{3}\left[\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c\right]$
    - 正相 $\dot{V}_1 = \frac{1}{3}\left[\dot{V}_a + \alpha\dot{V}_b + \alpha^2\dot{V}_c\right]$ $\quad \dot{I}_1 = \frac{1}{3}\left[\dot{I}_a + \alpha\dot{I}_b + \alpha^2\dot{I}_c\right]$
    - 逆相 $\dot{V}_2 = \frac{1}{3}\left[\dot{V}_a + \alpha^2\dot{V}_b + \alpha\dot{V}_c\right]$ $\quad \dot{I}_2 = \frac{1}{3}\left[\dot{I}_a + \alpha\dot{I}_b + \alpha^2\dot{I}_c\right]$

但し$\alpha = e^{j\frac{2}{3}\pi}$ 回転を表す。$\alpha^3 = e^{j2\pi} = 1$ 1回転

$$1 + \alpha + \alpha^2 = 1 + e^{j\frac{2}{3}\pi} + e^{j\frac{4}{3}\pi} = 0$$

対称座標法

- 対称座標変換行列

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

- 対象座標成分から相座標成分への逆変換

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

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

対称座標法

- 三相平衡の場合の各値
  - 各相の電圧・電流
    - 同一振幅
    - B相の位相はa相のπ2/3遅れ
    - C相の位相はb相のπ2/3遅れ

$$\begin{cases} \dot{V}_a = Ve^{j\theta} \\ \dot{V}_b = \dot{V}_a e^{-j\frac{2}{3}\pi} = \alpha^2 \dot{V}_a \\ \dot{V}_c = \dot{V}_b e^{-j\frac{2}{3}\pi} = \alpha \dot{V}_a \end{cases}$$

  - 各対称成分は
    - 零相 $\dot{V}_0 = \frac{1}{3}\left[\dot{V}_a + \dot{V}_b + \dot{V}_c\right] = \frac{1}{3}\left[\dot{V}_a + \alpha^2\dot{V}_a + \alpha\dot{V}_a\right] = \frac{1}{3}\dot{V}_a\left[1+\alpha^2+\alpha\right] = 0$
    - 正相 $\dot{V}_1 = \frac{1}{3}\left[\dot{V}_a + \alpha\dot{V}_b + \alpha^2\dot{V}_c\right] = \frac{1}{3}\left[\dot{V}_a + \alpha^3\dot{V}_a + \alpha^3\dot{V}_a\right] = \frac{1}{3}\dot{V}_a\left[1+\alpha^3+\alpha^3\right] = \dot{V}_a$
    - 逆相 $\dot{V}_2 = \frac{1}{3}\left[\dot{V}_a + \alpha^2\dot{V}_b + \alpha\dot{V}_c\right] = \frac{1}{3}\left[\dot{V}_a + \alpha^4\dot{V}_a + \alpha^2\dot{V}_a\right] = \frac{1}{3}\dot{V}_a\left[1+\alpha^1+\alpha^2\right] = 0$

対称座標法

- インピーダンスの取り扱い
    - 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

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

対称座標法

- インピーダンスの取り扱い
  - 相座標表現

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

  - 対象座標表現

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

2008/11/21 電力システム解析論 9

対称座標法

- インピーダンスの取り扱い

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

2008/11/21 電力システム解析論 10

対称座標法

- インピーダンス行列の相座標形式と対象座標形式の関係

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

対称座標法

- 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

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

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

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

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

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

$$= \frac{1}{3}\begin{bmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & \alpha & \alpha^2\\ 1 & \alpha^2 & \alpha\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot{Z}_s & \dot{Z}_m & \dot{Z}_m\\ \dot{Z}_m & \dot{Z}_s & \dot{Z}_m\\ \dot{Z}_m & \dot{Z}_m & \dot{Z}_s\end{bmatrix}\begin{bmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & \alpha^2 & \alpha\\ 1 & \alpha & \alpha^2\end{bmatrix}$$

$$= \frac{1}{3}\begin{bmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & \alpha & \alpha^2\\ 1 & \alpha^2 & \alpha\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot{Z}_s + 2\dot{Z}_m & \dot{Z}_s + (\alpha^2+\alpha)\dot{Z}_m & \dot{Z}_s + (\alpha+\alpha^2)\dot{Z}_m\\ \dot{Z}_s + 2\dot{Z}_m & \alpha^2\dot{Z}_s + (1+\alpha)\dot{Z}_m & \alpha\dot{Z}_s + (1+\alpha^2)\dot{Z}_m\\ \dot{Z}_s + 2\dot{Z}_m & \alpha\dot{Z}_s + (1+\alpha^2)\dot{Z}_m & \alpha^2\dot{Z}_s + (1+\alpha)\dot{Z}_m\end{bmatrix}$$

対称座標法

- インピーダンス行列の扱い
  - 送電線路の場合

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

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

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

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

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

対称座標法

- インピーダンス行列の扱い
  - 送電線路の場合

$$\dot{Z}_{12}=\tfrac{1}{3}\left[\left\{\dot{Z}_s+\left(\alpha+\alpha^2\right)\dot{Z}_m\right\}+\alpha\left\{\alpha\dot{Z}_s+\left(1+\alpha^2\right)\dot{Z}_m\right\}+\alpha^2\left\{\alpha^2\dot{Z}_s+\left(1+\alpha\right)\dot{Z}_m\right\}\right]$$
$$=\tfrac{1}{3}\left[\left(1+\alpha^2+\alpha^4\right)\dot{Z}_s+\left(\alpha+\alpha^2+1+\alpha^2+1+\alpha\right)\dot{Z}_m\right]=0$$

$$\dot{Z}_{20}=\tfrac{1}{3}\left[\left\{\dot{Z}_s+2\dot{Z}_m\right\}+\alpha^2\left\{\dot{Z}_s+2\dot{Z}_m\right\}+\alpha\left\{\dot{Z}_s+2\dot{Z}_m\right\}\right]$$
$$=\tfrac{1}{3}\left(1+\alpha^2+\alpha\right)\left(\dot{Z}_s+2\dot{Z}_m\right)=0$$

$$\dot{Z}_{21}=\tfrac{1}{3}\left[\left\{\dot{Z}_s+\left(\alpha^2+\alpha\right)\dot{Z}_m\right\}+\alpha^2\left\{\alpha^2\dot{Z}_s+\left(1+\alpha\right)\dot{Z}_m\right\}+\alpha\left\{\alpha\dot{Z}_s+\left(1+\alpha^2\right)\dot{Z}_m\right\}\right]$$
$$=\tfrac{1}{3}\left[\left(1+\alpha^4+\alpha^2\right)\dot{Z}_s+\left(\alpha^2+\alpha+\alpha^2+\alpha^3+\alpha+\alpha^3\right)\dot{Z}_m\right]=0$$

$$\dot{Z}_{22}=\tfrac{1}{3}\left[\left\{\dot{Z}_s+\left(\alpha+\alpha^2\right)\dot{Z}_m\right\}+\alpha^2\left\{\alpha\dot{Z}_s+\left(1+\alpha^2\right)\dot{Z}_m\right\}+\alpha\left\{\alpha^2\dot{Z}_s+\left(1+\alpha\right)\dot{Z}_m\right\}\right]$$
$$=\tfrac{1}{3}\left[\left(1+\alpha^3+\alpha^3\right)\dot{Z}_s+\left(\alpha+\alpha^2+\alpha^2+\alpha^4+\alpha+\alpha^2\right)\dot{Z}_m\right]=\tfrac{1}{3}\left[3\dot{Z}_s-3\dot{Z}_m\right]=\dot{Z}_s-\dot{Z}_m$$

2008/11/21 電力システム解析論 15

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

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

    - 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

2008/11/21 電力システム解析論 16

対称座標法

- インピーダンス行列の扱い
  - 送電線路の場合

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

  - 対称分の各相を独立に表現可能
    - 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

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

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

  - 中性点電圧

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

  - 出力電圧・電流

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

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

零・正・逆相別の回路図が描ける