

電力システム解析論

第10回
クラーク座標法
系統計算
平成20年12月12日

クラーク座標法 $\alpha - \beta - 0$ 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
 - $\alpha, \beta, 0$ 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

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

– 逆変換

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

– 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

2008/12/05

電力システム解析論

3

クラーク座標法による α - β - 0 変換

• 変換式の確認

– 順変換式と逆変換式の積

$$\frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1+1+1 & \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} & 2-1-1 \\ \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{3}{2} + \frac{3}{2} & \sqrt{3} - \sqrt{3} \\ 1 - \frac{1}{2} - \frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} & 1+1+1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

– ちゃんと単位行列になっている

2008/12/05

電力システム解析論

4

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 $\sqrt{3}/2$ 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

2008/12/05

電力システム解析論

5

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

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

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \\ v_0 \end{bmatrix} &= \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \sin \omega t \\ V \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi) \\ V \sin(\omega t + \frac{2}{3}\pi) \end{bmatrix} = \frac{V}{3} \begin{bmatrix} 2 \sin \omega t - \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi) - \sin(\omega t + \frac{2}{3}\pi) \\ \sqrt{3} \{ \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi) - \sin(\omega t + \frac{2}{3}\pi) \} \\ \sin \omega t + \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi) + \sin(\omega t + \frac{2}{3}\pi) \end{bmatrix} \\ &= \frac{V}{3} \begin{bmatrix} 2 \sin \omega t - \sin \omega t \cos \frac{2}{3}\pi + \cos \omega t \sin \frac{2}{3}\pi - \sin \omega t \cos \frac{2}{3}\pi - \cos \omega t \sin \frac{2}{3}\pi \\ \sqrt{3} \{ \sin \omega t \cos \frac{2}{3}\pi - \cos \omega t \sin \frac{2}{3}\pi - \sin \omega t \cos \frac{2}{3}\pi - \cos \omega t \sin \frac{2}{3}\pi \} \\ \sin \omega t + \sin \omega t \cos \frac{2}{3}\pi - \cos \omega t \sin \frac{2}{3}\pi + \sin \omega t \cos \frac{2}{3}\pi + \cos \omega t \sin \frac{2}{3}\pi \end{bmatrix} \\ &= \frac{V}{3} \begin{bmatrix} 2 \sin \omega t - \sin \omega t (-\frac{1}{2}) - \sin \omega t (-\frac{1}{2}) \\ \sqrt{3} \{ -\cos \omega t (\frac{\sqrt{3}}{2}) - \cos \omega t (\frac{\sqrt{3}}{2}) \} \\ \sin \omega t + \sin \omega t (-\frac{1}{2}) + \sin \omega t (-\frac{1}{2}) \end{bmatrix} = V \begin{bmatrix} \sin \omega t \\ -\cos \omega t \\ 0 \end{bmatrix} \quad \leftarrow \beta \text{ は } \alpha \text{ の } 90^\circ \text{ 遅れ} \end{aligned}$$

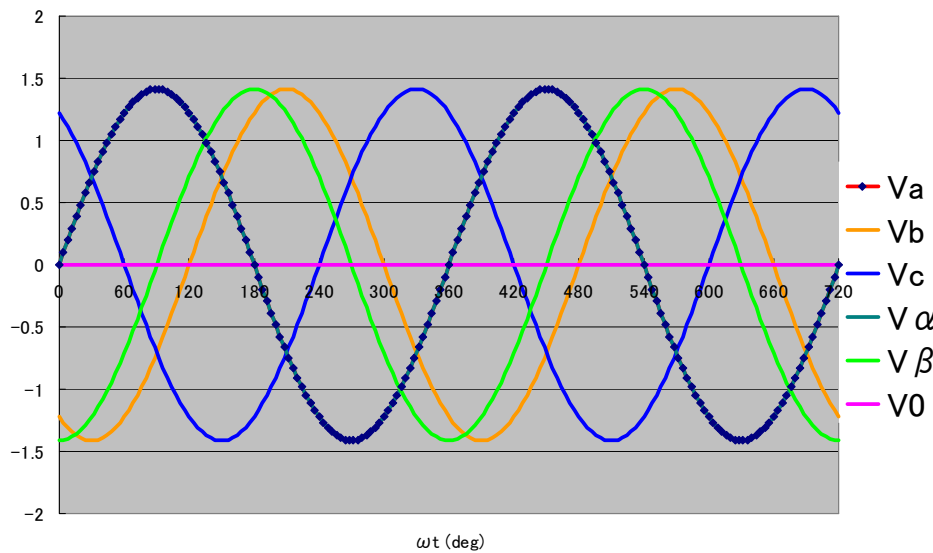
2008/12/05

電力システム解析論

6

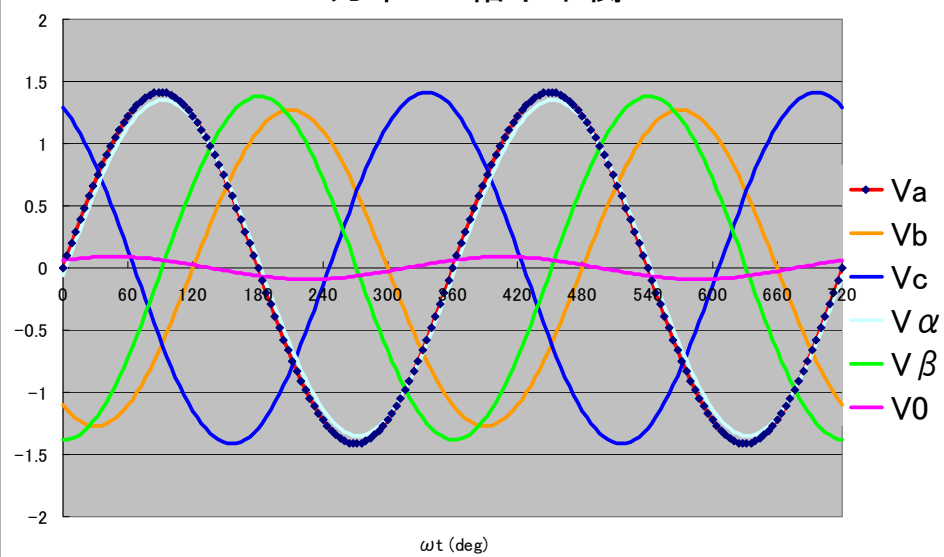
クラーク座標変換 (α β 変換)

三相平衡



クラーク座標変換 (α β 変換)

力率1三相不平衡



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

$$\begin{aligned} \begin{cases} \dot{V}_a = V \exp j\omega t \\ \dot{V}_b = V \exp j(\omega t - \frac{2}{3}\pi) \\ \dot{V}_c = V \exp j(\omega t + \frac{2}{3}\pi) \end{cases} & \quad \begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_\beta \\ \dot{V}_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_\beta \\ \dot{V}_0 \end{bmatrix} &= \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \exp j\omega t \\ V \exp j(\omega t - \frac{2}{3}\pi) \\ V \exp j(\omega t + \frac{2}{3}\pi) \end{bmatrix} = \frac{V \exp j\omega t}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \alpha^2 \\ \alpha \end{bmatrix} \\ &= \frac{V \exp j\omega t}{3} \begin{bmatrix} 2 - \alpha^2 - \alpha \\ \sqrt{3} \{ \alpha^2 - \alpha \} \\ 1 + \alpha^2 + \alpha \end{bmatrix} = \frac{V \exp j\omega t}{3} \begin{bmatrix} 3 \\ \sqrt{3} \{ -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \} \\ 0 \end{bmatrix} \\ &= \frac{V \exp j\omega t}{3} \begin{bmatrix} 3 \\ j3 \\ 0 \end{bmatrix} = V \exp j\omega t \begin{bmatrix} 1 \\ j \\ 0 \end{bmatrix} \quad \leftarrow \beta \text{ は } \alpha \text{ の } 90^\circ \text{ 遅れ} \end{aligned}$$

2008/12/05

電力システム解析論

9

対称座標法とクラーク座標法の比較

- 対称座標 \leftrightarrow クラーク座標変換

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix} &= \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{V}_b \\ \dot{V}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_\alpha \\ \dot{V}_\beta \\ \dot{V}_0 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix} &= \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \\ 1 & -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_\alpha \\ \dot{V}_\beta \\ \dot{V}_0 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ \frac{1}{2} & j\frac{1}{2} & 0 \\ \frac{1}{2} & -j\frac{1}{2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_\alpha \\ \dot{V}_\beta \\ \dot{V}_0 \end{bmatrix} \quad \begin{cases} \dot{V}_0 = \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 = \frac{1}{2}(\dot{V}_\alpha + j\dot{V}_\beta) \\ \dot{V}_2 = \frac{1}{2}(\dot{V}_\alpha - j\dot{V}_\beta) \end{cases} \quad \begin{cases} \dot{V}_0 = \dot{V}_0 \\ \dot{V}_\alpha = \dot{V}_1 + \dot{V}_2 \\ \dot{V}_\beta = -j(\dot{V}_1 - \dot{V}_2) \end{cases} \end{aligned}$$

2008/12/05

電力システム解析論

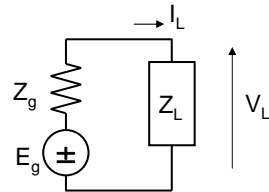
10

系統計算

- 系統の計算=回路計算

- 起電力 E_g , 内部抵抗 Z_g , 負荷電流 I_L , 負荷電圧 V_L

$$V_L = E_g - I_L Z_g$$

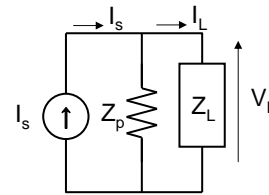


- 電源の電圧源⇔電流源変換

- 内部抵抗 Z_p , 電流源 I_s ,

- 負荷電圧が等しければ電源及びインピーダンスは等価に表される

$$V_L = (I_s - I_L) Z_p = I_s Z_p - I_L Z_p$$

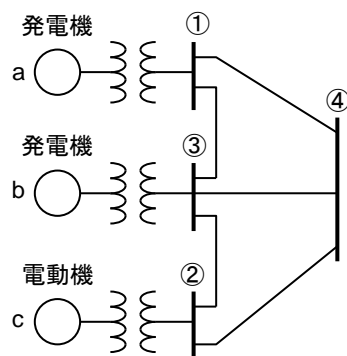


2008/12/05

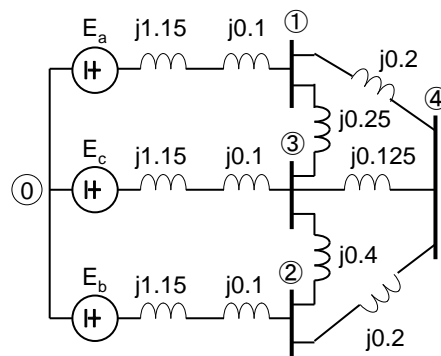
電力システム解析論

11

系統の節点方程式



電力系統の単線結線図



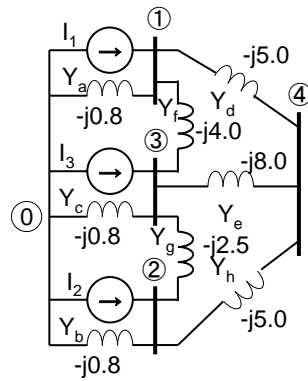
電力系統のリアクタンス表現の結線図 (pu表示)

2008/12/05

電力システム解析論

12

系統の節点方程式



電力系統のアドミタンス表現の結線図
(pu表示)

2008/12/05

電力システム解析論

13

節点1のKCL

$$I_1 = V_1 Y_a + (V_1 - V_3) Y_f + (V_1 - V_4) Y_d$$

節点2のKCL

$$I_2 = V_2 Y_b + (V_2 - V_3) Y_g + (V_2 - V_4) Y_h$$

節点3のKCL

$$I_3 = V_3 Y_c + (V_3 - V_2) Y_g + (V_3 - V_1) Y_f + (V_3 - V_4) Y_e$$

節点4のKCL

$$0 = (V_4 - V_1) Y_d + (V_4 - V_2) Y_h + (V_4 - V_3) Y_e$$

系統の節点方程式

$$I_1 = (Y_a + Y_f + Y_d) V_1 - Y_f V_3 - Y_d V_4$$

$$I_2 = (Y_b + Y_g + Y_h) V_2 - Y_g V_3 - Y_h V_4$$

$$I_3 = -Y_f V_1 - Y_g V_2 + (Y_e + Y_f + Y_g) V_3 - Y_e V_4$$

$$0 = -Y_d V_1 - Y_h V_2 - Y_e V_3 + (Y_d + Y_e + Y_h) V_4$$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & Y_{14} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & Y_{24} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & Y_{34} \\ Y_{41} & Y_{42} & Y_{43} & Y_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix}$$

Y_{ii} 自己アドミタンス
その節点に接続された
アドミタンスの総和

Y_{ij} 相互アドミタンス ($i \neq j$)
二節点間のアドミタンス
の負値

2008/12/05

電力システム解析論

14

行列の分割

$$C = AB$$

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ b_{31} \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \quad E = \begin{bmatrix} a_{13} \\ a_{23} \end{bmatrix}$$

$$H = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \end{bmatrix} \quad J = b_{31}$$

$$F = \begin{bmatrix} a_{31} & a_{32} \end{bmatrix} \quad G = a_{33}$$

$$A = \begin{bmatrix} D & E \\ F & G \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} H \\ J \end{bmatrix}$$

2008/12/05

電力システム解析論

15

行列の分割

$$C = AB = \begin{bmatrix} D & E \\ F & G \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H \\ J \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} DH + EJ \\ FH + GJ \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} M \\ N \end{bmatrix}$$

$$M = DH + EJ$$

$$N = FH + GJ$$

$$\begin{aligned} N &= \begin{bmatrix} a_{31} & a_{32} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \end{bmatrix} + a_{33} b_{31} \\ &= a_{31} b_{11} + a_{32} b_{21} + a_{33} b_{31} \end{aligned}$$

2008/12/05

電力システム解析論

16

系統の縮約

$$I = Y_{bus} V$$

$$\begin{bmatrix} I_A \\ I_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K & L \\ L^T & M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_A \\ V_x \end{bmatrix}$$

$$I_A = KV_A + LV_x$$

$$I_x = L^T V_A + MV_x$$

I_x 要素が全て0の場合

$$I_x = 0 = L^T V_A + MV_x$$

$$V_x = -M^{-1} L^T V_A$$

$$I_A = KV_A + LV_x$$

$$= KV_A - LM^{-1} L^T V_A$$

2008/12/05

電力システム解析論

17

母線のインピーダンス行列と アドミタンス行列

- アドミタンス行列 Y_{bus} とインピーダンス行列 Z_{bus} の関係

$$Z_{bus} = Y_{bus}^{-1}$$

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} \\ Z_{31} & Z_{32} & Z_{33} \end{bmatrix}$$

Z_{ii} 駆動点インピーダンス

Z_{ij} 伝達インピーダンス ($i \neq j$)

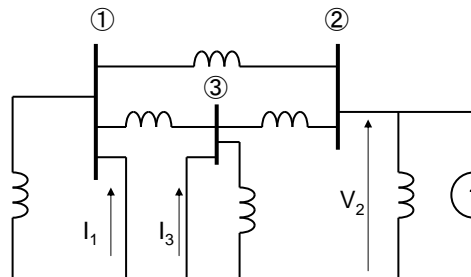
アドミタンス行列 Y_{bus} が対称なので
インピーダンス行列も対称

2008/12/05

電力システム解析論

18

アドミタンス行列の作り方



アドミタンス Y_{22} , Y_{12} , Y_{32} 決定用回路

$$I = Y_{bus} V$$

ノード②

$$I_2 = Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2 + Y_{23}V_3$$

自己アドミタンス Y_{22} は,
節点①, ③を接地して求める

$$Y_{22} = \frac{I_2}{V_2} \Big|_{V_1=V_3=0}$$

ノード①

$$I_1 = Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2 + Y_{13}V_3$$

相互アドミタンス Y_{12} は,
節点①, ③を接地して求める

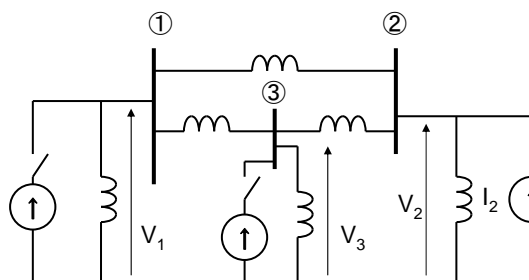
$$Y_{12} = \frac{I_1}{V_2} \Big|_{V_1=V_3=0}$$

2008/12/05

電力システム解析論

19

インピーダンス行列の作り方



アドミタンス Z_{22} , Z_{12} は, Z_{32} 決定用回路

$$V = Z_{bus} I$$

ノード②

$$V_2 = Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2 + Z_{23}I_3$$

駆動点インピーダンス Z_{22} は, 節点
①, ③の電流源を開放して求める

$$Z_{22} = \frac{V_2}{I_2} \Big|_{I_1=I_3=0}$$

ノード①

$$V_1 = Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2 + Z_{13}I_3$$

伝達インピーダンス Z_{12} は, 節点
①, ③の電流源を開放して求める

$$Z_{12} = \frac{V_1}{I_2} \Big|_{I_1=I_3=0}$$

2008/12/05

電力システム解析論

20

インピーダンス行列のいじり方

- 母線数の増やし方

– 他の母線に繋がっていない母線の増やし方

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \\ V_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} & & & 0 \\ & Z_{bus} & & 0 \\ & & & \vdots \\ & & & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & Z_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \\ I_p \end{bmatrix}$$

新しい母線pができても
他は変わらない

2008/12/05

電力システム解析論

21

インピーダンス行列のいじり方

- 母線数の増やし方

– 既存の母線に繋がった母線の増やし方

- 母線pを増設
- 母線pは母線kに繋がる

$$V_{k(new)} = V_{k(orig)} + V_{k(new)} Z_{kk}$$

$$V_p = V_{k(orig)} + I_p Z_{kk} + I_p Z_b$$

$$V_p = \underbrace{I_1 Z_{k1} + I_2 Z_{k2} \dots I_n Z_{kn}}_{V_{k(orig)}} + I_p (Z_{kk} + Z_b)$$

2008/12/05

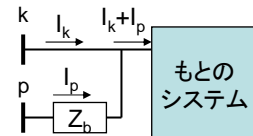
電力システム解析論

22

インピーダンス行列のいじり方

• 母線数の増やし方

– 既存の母線に繋がった母線の増やし方

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \\ V_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} & & & & Z_{1k} \\ & Z_{orig} & & & Z_{2k} \\ & & & & \vdots \\ & & & & Z_{nk} \\ Z_{k1} & Z_{k2} & \cdots & Z_{kn} & Z_{kk} + Z_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \\ I_p \end{bmatrix}$$


最後の行・列が変わる

2008/12/05

電力システム解析論

23

インピーダンス行列のいじり方

• 母線数の増やし方

– 既存の母線(j-k)間にインピーダンス Z_b を付加

$$V_1 = Z_{11}I_1 + \cdots + Z_{1j}(I_j + I_b) + Z_{1k}(I_k - I_b) + \cdots$$

$$= Z_{11}I_1 + \cdots + Z_{1j}I_j + Z_{1k}I_k + \cdots + I_b(Z_{1j} - Z_{1k})$$

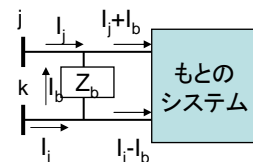
同様に

$$V_j = Z_{j1}I_1 + \cdots + Z_{jj}I_j + Z_{jk}I_k + \cdots + I_b(Z_{jj} - Z_{jk})$$

$$V_k = Z_{k1}I_1 + \cdots + Z_{kj}I_j + Z_{kk}I_k + \cdots + I_b(Z_{kj} - Z_{kk})$$

インピーダンスに流れる電流と電位差の関係

$$V_k - V_j = I_b Z_b$$



2008/12/05

電力システム解析論

24

インピーダンス行列のいじり方

- 母線数の増やし方

– 既存の母線(j-k)間にインピーダンス Z_b を付加

$$\begin{aligned}
 0 &= I_b Z_b - V_k + V_j \\
 &= I_b Z_b - [Z_{k1} I_1 + \cdots + Z_{kj} I_j + Z_{kk} I_k + \cdots + I_b (Z_{kj} - Z_{kk})] \\
 &\quad + [Z_{j1} I_1 + \cdots + Z_{jj} I_j + Z_{jk} I_k + \cdots + I_b (Z_{jj} - Z_{jk})] \\
 0 &= (Z_{j1} - Z_{k1}) I_1 + \cdots + (Z_{jj} - Z_{kj}) I_j + (Z_{jk} - Z_{kk}) I_k \\
 &\quad + [(Z_{jj} - Z_{jk}) - (Z_{kj} - Z_{kk}) + Z_b] I_b \\
 &= (Z_{j1} - Z_{k1}) I_1 + \cdots + (Z_{jj} - Z_{kj}) I_j + (Z_{jk} - Z_{kk}) I_k \\
 &\quad + (Z_{jj} + Z_{kk} - 2Z_{jk} + Z_b) I_b
 \end{aligned}$$

2008/12/05

電力システム解析論

25

インピーダンス行列のいじり方

- 母線数の増やし方

– 既存の母線(j-k)間にインピーダンス Z_b を付加

$$Z_{bb} = Z_{jj} + Z_{kk} - 2Z_{jk} + Z_b$$

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ \vdots \\ V_j \\ V_k \\ \vdots \\ V_n \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} & & & & & \\ & & & & & \\ & & Z_{orig} & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ \cdots & & & & & \\ Z_{j1} - Z_{k1} & & Z_{jk} - Z_{kk} & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ \vdots \\ I_j \\ I_k \\ \vdots \\ I_n \\ I_b \end{bmatrix}$$

2008/12/05

電力システム解析論

26