

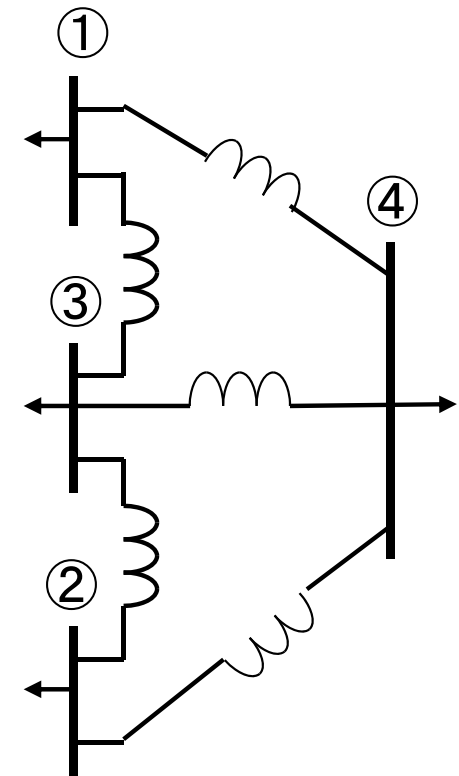
電力システム解析論

第8回 系統のインピーダンス・
アドミタンス行列

平成26年12月2日

潮流計算

- 潮流計算とは
 - 発電機母線, 送電線, 負荷母線における
 - 電圧・電流の振幅位相
 - 有効電力・無効電力を求める
- 潮流計算の目的
 - 電力系統の運転状態を知る
 - 電力系統の運用計画を立てる



電力系統図

潮流計算に用いるデータ

- 線路データ

- アドミタンス行列

- 自己アドミタンス
- 相互アドミタンス

$$[I] = [Y][V]$$

- インピーダンス行列

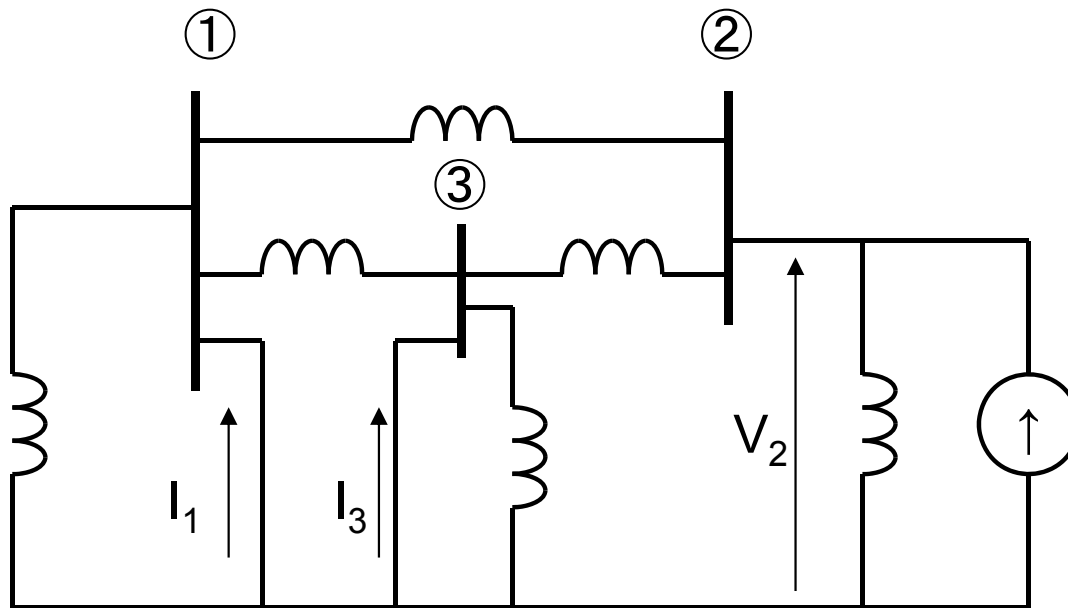
- 駆動点インピーダンス
- 伝達インピーダンス
- 単線結線図からアドミタンスを求めるほうが容易

- その他必要な情報

- 変圧器の定格, 変圧比・インピーダンス・タップ比
- 力率改善用コンデンサ

アドミタンス行列の作り方

重ね合わせの理



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

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

インピーダンス行列の作り方

重ね合わせの理

$$V = Z_{bus} I$$

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

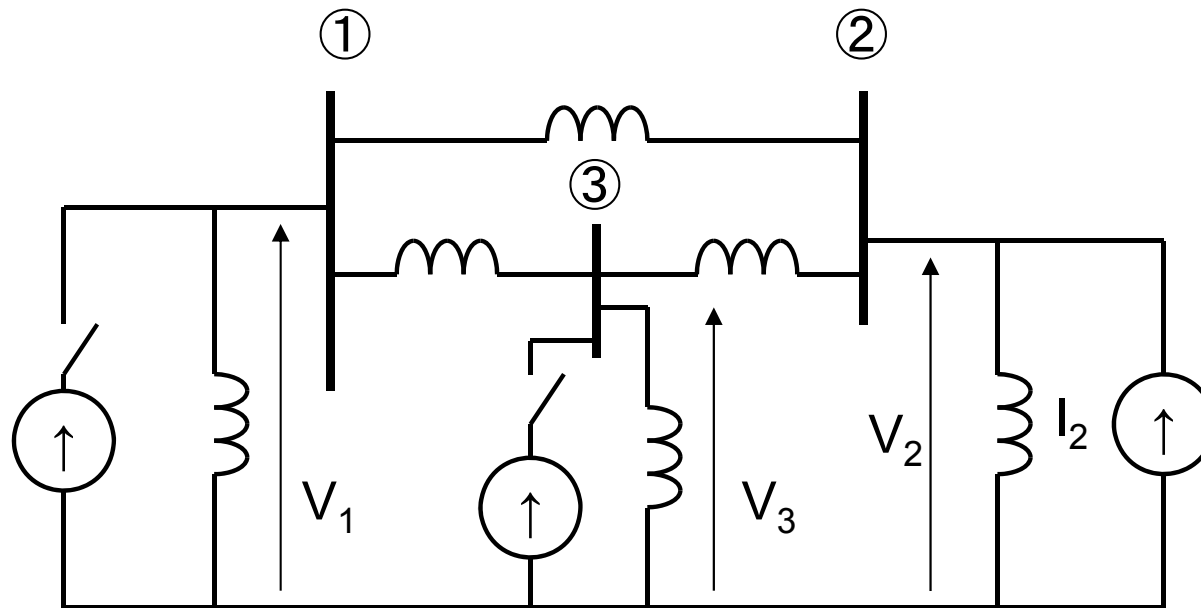
$$Z_{22} = \frac{V_2}{I_2} \Big|_{I_1=I_3=0}$$

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

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



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

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場合

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

新しい母線pができて
他は変わらない

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場合

- 母線pを増設
- 母線pは母線kに繋がる

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

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

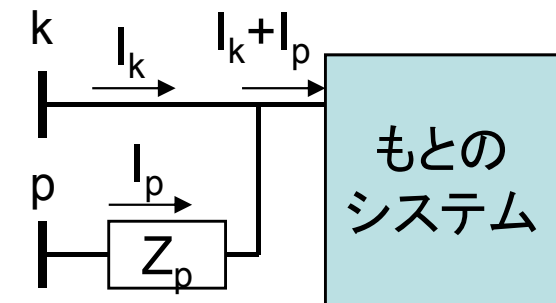
$$V_p = \underbrace{I_1 Z_{k1} + I_2 Z_{k2} \cdots I_n Z_{kn}}_{V_{k(orig)}} + I_p (Z_{kk} + Z_p)$$

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場合

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \\ V_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ \hline Z_{k1} & Z_{k2} & \cdots & Z_{kn} & Z_{kk} + Z_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \\ I_p \end{bmatrix}$$



最後の行・列が変わる

インピーダンス行列のいじり方

- 母線数の増やし方

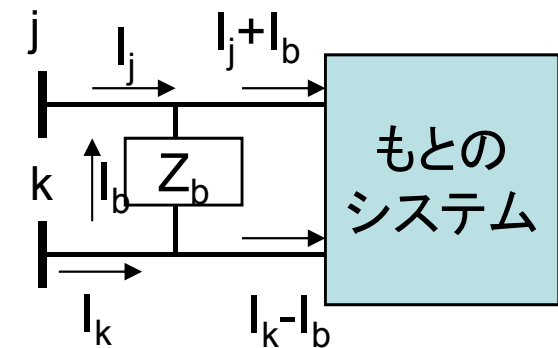
- 既存の母線(j-k)間にインピーダンス Z_b を付加

$$\begin{aligned} V_1 &= Z_{11}I_1 + \dots + Z_{1j}(I_j + I_b) + Z_{1k}(I_k - I_b) + \dots \\ &= Z_{11}I_1 + \dots + Z_{1j}I_j + Z_{1k}I_k + \dots + I_b(Z_{1j} - Z_{1k}) \end{aligned}$$

同様に

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

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



インピーダンスに流れる電流と電位差の関係

$$V_k - V_j = I_b Z_b$$

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

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

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

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

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ \vdots \\ V_j \\ V_k \\ \vdots \\ V_n \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & Z_{orig} & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ Z_{j1} - Z_{k1} & & & & & & \\ Z_{jk} - Z_{kk} & & & & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{1j} - Z_{1k} \\ \vdots \\ Z_{jj} - Z_{jk} \\ Z_{kj} - Z_{kk} \\ \vdots \\ Z_{nj} - Z_{nk} \\ Z_{bb} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ \vdots \\ I_j \\ I_k \\ \vdots \\ I_n \\ I_b \end{bmatrix}$$

潮流計算に用いる条件

- 解析条件
 - 一母線を除き有効電力を設定
 - 負荷電力を負で表す
 - 有効電力を指定しない母線
 - スラック母線・スイング母線
 - 発電機母線が一般的
 - 皺取り・位相基準
 - 母線への注入無効電力又は電圧の大きさを設定
 - 一般的な設定
 - 負荷母線は無効電力
 - 発電機母線は電圧

潮流計算の方法

- 潮流計算は閉形式で求まらない
 - 繰り返し計算
 - 微係数を用いない
 - ガウス法
 - ガウスザイデル法
 - 微係数を用いる
 - ニュートンラフソン法
 - 直交座標
 - 極座標
 - » 普通のやり方
 - » 分離法
 - » 高速分離法

潮流計算

- 線路条件・状態変数
 - 4母線系統

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \\ \dot{I}_3 \\ \dot{I}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Y}_{11} & \dot{Y}_{12} & \dot{Y}_{13} & \dot{Y}_{14} \\ \dot{Y}_{21} & \dot{Y}_{22} & \dot{Y}_{23} & \dot{Y}_{24} \\ \dot{Y}_{31} & \dot{Y}_{32} & \dot{Y}_{33} & \dot{Y}_{34} \\ \dot{Y}_{41} & \dot{Y}_{42} & \dot{Y}_{43} & \dot{Y}_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \\ \dot{V}_3 \\ \dot{V}_4 \end{bmatrix}$$

- 潮流条件
 - 発電機母線→PV指定
 - 負荷母線→PQ指定
 - 無限大母線→V指定(位相基準 $\angle 0\text{deg}$)

ガウスザイデル法1

- 4母線系統で考える
 - 母線1をスイング母線
 - 計算を母線2から開始する
 - 母線2がP,Q指定母線の場合(Qは遅れが正)

$$\dot{V}_2 \overline{\dot{I}_2} = P_2 + jQ_2$$

» 母線電流

$$\dot{I}_2 = \frac{P_2 - jQ_2}{\overline{\dot{V}_2}}$$

ガウスザイデル法2

» アドミタンス行列の関係

$$\dot{I}_2 = \dot{Y}_{21}\dot{V}_1 + \dot{Y}_{22}\dot{V}_2 + \dot{Y}_{23}\dot{V}_3 + \dot{Y}_{24}\dot{V}_4$$

» 代入

$$\frac{P_2 - jQ_2}{\overline{V}_2} = Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2 + Y_{23}V_3 + Y_{24}V_4$$

» 母線2の電圧

$$V_2 = \frac{1}{Y_{22}} \left[\frac{P_2 - jQ_2}{\overline{V}_2} - Y_{21}V_1 - Y_{23}V_3 - Y_{24}V_4 \right]$$

- » 繰り返し計算において、前回の電圧 \overline{V}_2 を用いて新たな電圧 V_2 を求める
- » 修正した V_2 を用いてもう一度計算する手順が一般的

ガウスザイデル法3

- 修正した全母線電圧を用いて, 次の計算ステップに進む
- 求めた電圧をそのまま次の計算ステップに用いる
 - ガウス法
- 求めた電圧でもう一度電圧を計算し押し, 次の計算ステップに進む
 - ガウスザイデル法
- 初期の設定値が解から離れていると, 欲しい解に収束しないことがある
- 必要な繰り返し数が多い
 - 電圧の修正に加速係数を掛ける