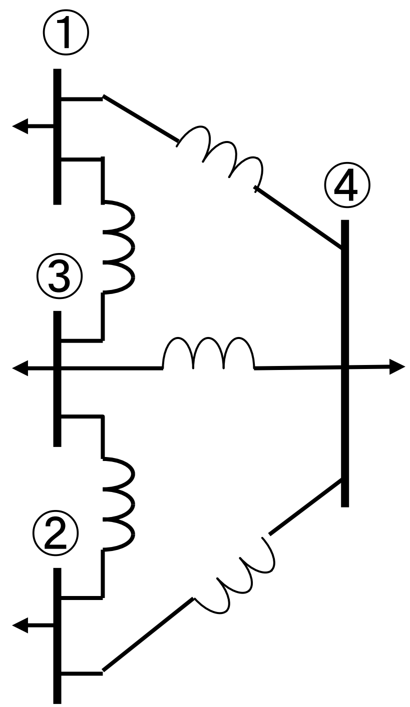
電力システム解析論

第12回　潮流計算

平成22年1月8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
  - 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

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

潮流計算に用いる条件

- 動作条件
  - 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∠0deg）

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

ガウスザイデル法4

- N母線系統
  - P,Q指定母線
    - 母線kの電圧
      - ただしn≠k

$$V_k = \frac{1}{Y_{kk}}\left[\frac{P_k - jQ_k}{\overline{V_k}} - \sum_{n=1}^{N} Y_{kn}V_n\right]$$

  - P,V指定母線
    - 母線kの電力を求める

$$P_k - jQ_k = \overline{V_k}\sum_{n=1}^{N} Y_{kn}V_n$$

      - Pkは指定値
      - Qkについて考える

$$Q_k = -\mathrm{Im}\left[\overline{V_k}\sum_{n=1}^{N} Y_{kn}V_n\right]$$

ガウスザイデル法4

– P,V指定母線
  - 母線kの電圧を算出

$$V_k = \frac{1}{Y_{kk}}\left[\frac{P_k - jQ_k}{\overline{V_k}} - \sum_{\substack{n=1\\n\neq k}}^{N} Y_{kn}V_n\right]$$

    – Pkは指定値，Qkは求めた値
    – 指定したVkの振幅に合うように複素量のVkを縮小
      » 縮小率α

$$\alpha = \frac{V_{k\text{指定値}}}{\left|\dot{V}_{k\text{計算値}}\right|}$$

$$\dot{V}_{k\text{計算値(新)}} = \alpha \dot{V}_{k\text{計算値}}$$

ニュートンラフソン法1

- 潮流計算用関数のテーラー展開を利用
  - 2変数の2関数を考える
    - 変数x_1,x_2,関数f_1,f_2,定数K_1,K_2

$$\begin{cases} f_1(x_1, x_2) = K_1 \\ f_2(x_1, x_2) = K_2 \end{cases}$$

    - 初期値$x_1^{(0)}$,$x_2^{(0)}$,修正分$\Delta x_1^{(0)}$,$\Delta x_2^{(0)}$

$$\begin{cases} f_1(x_1, x_2) = f_1\left(x_1^{(0)} + \Delta x_1^{(0)}, x_2^{(0)} + \Delta x_2^{(0)}\right) = K_1 \\ f_2(x_1, x_2) = f_2\left(x_1^{(0)} + \Delta x_1^{(0)}, x_2^{(0)} + \Delta x_2^{(0)}\right) = K_2 \end{cases}$$

ニュートンラフソン法2

- 修正分$\Delta x_1^{(0)}, \Delta x_2^{(0)}$を求める事を考える
- テーラー展開

$$\begin{cases} K_1 = f_1\left(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}\right) + \Delta x_1^{(0)} \left.\dfrac{\partial f_1}{\partial x_1}\right|_{(0)} + \Delta x_2^{(0)} \left.\dfrac{\partial f_1}{\partial x_2}\right|_{(0)} \cdots \\ K_2 = f_2\left(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}\right) + \Delta x_1^{(0)} \left.\dfrac{\partial f_2}{\partial x_1}\right|_{(0)} + \Delta x_2^{(0)} \left.\dfrac{\partial f_2}{\partial x_2}\right|_{(0)} \cdots \end{cases}$$

ニュートンラフソン法3

- テーラー展開の二階以上の項を無視

$$
\begin{bmatrix} K_1 - f_1\left(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}\right) \\ K_2 - f_2\left(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}\right) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial f_1}{\partial x_1} & \dfrac{\partial f_1}{\partial x_2} \\ \dfrac{\partial f_2}{\partial x_1} & \dfrac{\partial f_2}{\partial x_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \end{bmatrix}
$$

  – 変微分の正方行列をヤコビアンと呼ぶ

    » K_1,K_2の誤差で表す

$$
\begin{bmatrix} \Delta K_1^{(0)} \\ \Delta K_2^{(0)} \end{bmatrix} = J^{(0)} \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \end{bmatrix} \quad \Rightarrow \quad \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \end{bmatrix} = J^{(0)-1} \begin{bmatrix} \Delta K_1^{(0)} \\ \Delta K_2^{(0)} \end{bmatrix}
$$

ニュートンラフソン法4

- 求めた修正値Δ$x_1^{(0)}$, Δ$x_2^{(0)}$を用いて，新しい値を求める

$$\begin{cases} x_1^{(1)} = x_1^{(0)} + \Delta x_1^{(0)} \\ x_2^{(1)} = x_2^{(0)} + \Delta x_2^{(0)} \end{cases}$$

- このプロセスを繰り返す
  - 終了判定条件

$$Max\left\{\left|x_1^{(n+1)} - x_1^{(n)}\right|, \cdots, \left|x_k^{(n+1)} - x_k^{(n)}\right|, \left|x_N^{(n+1)} - x_N^{(n)}\right|\right\} < \varepsilon$$