

# 電力システム解析論

第12回 潮流計算2

平成30年1月9日

# 潮流計算の利用

- 潮流計算結果
  - 母線電圧(振幅, 位相), 母線電力
  - 線路潮流
- 利用方法
  - 未建設の電力システムの運用状態の検討
  - 既設電力システムにおける制御効果の検証
    - 変圧器のタップ変更
      - 各母線の電圧を許容範囲内に維持可能か  
維持できない場合はタップ変更し, 再度潮流計算
    - 系統間連系時の連系線潮流の維持
      - 規定値内に収めるための発電量の調整

# ニュートンラフソン法

- 2変数の2関数

- 変数 $x_1, x_2$ , 関数 $f_1, f_2$ , 定数 $K_1, K_2$

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

- テーラー展開の二階以上の項を無視

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

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

# ニュートンラフソン法の適用 直交座標1

- 母線kの電圧(直交座標表示)

$$\dot{V}_k = e_k + jf_k$$

- 母線kの電力(直交座標状態量)

$$P_k + jQ_k = \dot{V}_k \bar{I}_k = \sum_{m=1}^N \bar{Y}_{km} \bar{V}_m \dot{V}_k$$

$$= \sum_{m=1}^N \bar{Y}_{km} (e_m - jf_m)(e_k + jf_k)$$

- N母線系統(発電機<sup>m=1</sup>1~h, 負荷h+1~N)
- スラック母線1→電圧, 位相角指定
- 発電機母線→P, V指定(Pgs, Vgs)
- 負荷母線→P, Q指定(Pls, Qls)

指定のs

# ニュートンラフソン法の適用 直交座標2

- 繰返し計算n回目で得られた母線電圧の値

$$e_2^n, f_2^n, \dots, e_N^n, f_N^n$$

- 各母線の有効・無効電力, 母線電圧の計算値と設定値の差

- 発電機母線
  - $g=2, 3, \dots, h$
$$\begin{cases} \Delta P_g^n = P_{gs} - P_g(e_1, f_1, e_2^n, f_2^n, \dots, e_N^n, f_N^n) \\ \Delta |V_g^n|^2 = V_{gs}^2 - \left\{ (e_g^n)^2 + (f_g^n)^2 \right\} \end{cases}$$

- 負荷母線
  - $l=h+1, \dots, N$
$$\begin{cases} \Delta P_l^n = P_{ls} - P_l(e_1, f_1, e_2^n, f_2^n, \dots, e_N^n, f_N^n) \\ \Delta Q_l^n = Q_{ls} - Q_l(e_1, f_1, e_2^n, f_2^n, \dots, e_N^n, f_N^n) \end{cases}$$

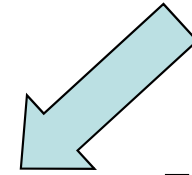
# ニュートンラフソン法の適用

## 直交座標3

- 修正方程式

$$\begin{bmatrix} \Delta P_g^n \\ \dots \\ \Delta |V_g^n|^2 \\ \dots \\ \Delta P_l^n \\ \dots \\ \Delta Q_l^n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_g}{\partial e_2} & \frac{\partial P_g}{\partial f_2} & \dots & \frac{\partial P_g}{\partial e_N} & \frac{\partial P_g}{\partial f_N} \\ \frac{\partial V_g^2}{\partial e_2} & \frac{\partial V_g^2}{\partial f_2} & \dots & \frac{\partial V_g^2}{\partial e_N} & \frac{\partial V_g^2}{\partial f_N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial P_l}{\partial e_2} & \frac{\partial P_l}{\partial f_2} & \dots & \frac{\partial P_l}{\partial e_N} & \frac{\partial P_l}{\partial f_N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial Q_l}{\partial e_2} & \frac{\partial Q_l}{\partial f_2} & \dots & \frac{\partial Q_l}{\partial e_N} & \frac{\partial Q_l}{\partial f_N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta e_2^n \\ \Delta f_2^n \\ \dots \\ \Delta e_N^n \\ \Delta f_N^n \end{bmatrix}$$

ヤコビアン(6種)  
(いまから求める)  
2(N-1)x2(N-1)



# ニュートンラフソン法の適用 直交座標4

- 次の近似値

$$\begin{cases} e_k^{n+1} = e_k^n + \Delta e_k^n \\ f_k^{n+1} = f_k^n + \Delta f_k^n \end{cases}$$

- アドミタンス行列の各要素

$$\dot{Y}_{km} = G_{km} + jB_{km} \quad (k, m = 1, 2, \dots, N)$$

# ニュートンラフソン法の適用 直交座標5

- 母線kから流出する電流の和

$$\begin{aligned}\dot{I}_k &= a_k + jb_k = \sum_{m=1}^N \dot{Y}_{km} \dot{V}_m = \sum_{m=1}^N (G_{km} + jB_{km})(e_m + jf_m) \\ &= \sum_{m=1}^N (G_{km}e_m - B_{km}f_m) + j \sum_{m=1}^N (G_{km}f_m + B_{km}e_m)\end{aligned}$$

- 母線kの電圧の大きさ

$$V_k^2 = e_k^2 + f_k^2$$



# ニュートンラフソン法の適用 直交座標6

- 母線kから流出する有効電力

$$\begin{aligned} P_k &= e_k a_k + b_k f_k \\ &= \sum_{m=1}^N (G_{km} e_m e_k - B_{km} e_k f_m + G_{km} f_m f_k + B_{km} e_m f_k) \end{aligned}$$

- 母線kから流出する無効電力

$$\begin{aligned} Q_k &= f_k a_k - e_k b_k \\ &= \sum_{m=1}^N (-G_{km} e_k f_m - B_{km} e_k e_m + G_{km} e_m f_k - B_{km} f_m f_k) \end{aligned}$$

# ニュートンラフソン法の適用 直交座標7

- 修正方程式の係数(反復回数n回目)
  - 非対角要素 $k \neq m$

$$\begin{aligned} \left( \frac{\partial P_k}{\partial e_m} \right)_n &= \frac{\partial}{\partial e_m} \sum_{i=1}^N \left( G_{ki} e_i^n e_k^n - B_{ki} e_k^n f_i^n + G_{ki} f_i^n f_k^n + B_{ki} e_i^n f_k^n \right) \\ &= G_{km} e_k^n + B_{km} f_k^n \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \left( \frac{\partial Q_k}{\partial e_m} \right)_n &= \frac{\partial}{\partial e_m} \sum_{i=1}^N \left( -G_{ki} e_k^n f_i^n - B_{ki} e_k^n e_i^n + G_{ki} e_i^n f_k^n - B_{ki} f_i^n f_k^n \right) \\ &= -B_{km} e_k^n + G_{km} f_k^n \end{aligned}$$

# ニュートンラフソン法の適用

## 直交座標8

- 修正方程式の係数(反復回数n回目)
  - 非対角要素 $k \neq m$

$$\begin{aligned}
 \left( \frac{\partial P_k}{\partial f_m} \right)_n &= \frac{\partial}{\partial f_m} \sum_{i=1}^N \left( G_{ki} e_i^n e_k^n - B_{ki} e_k^n f_i^n + G_{ki} f_i^n f_k^n + B_{ki} e_i^n f_k^n \right) \\
 &= -B_{km} e_k^n + G_{km} f_k^n = \left( \frac{\partial Q_k}{\partial e_m} \right)_n \\
 \left( \frac{\partial Q_k}{\partial f_m} \right)_n &= \frac{\partial}{\partial f_m} \sum_{i=1}^N \left( -G_{ki} e_k^n f_i^n - B_{ki} e_k^n e_i^n + G_{ki} e_i^n f_k^n - B_{ki} f_i^n f_k^n \right) \\
 &= -G_{km} e_k^n - B_{km} f_k^n = - \left( \frac{\partial P_k}{\partial e_m} \right)_n
 \end{aligned}$$

# ニュートンラフソン法の適用 直交座標9

- 修正方程式の係数(反復回数n回目)
  - 非対角要素 $k \neq m$

$$\left( \frac{\partial V_k^2}{\partial e_m} \right)_n = \frac{\partial}{\partial e_m} \left( e_k^{2n} + f_k^{2n} \right) = 0$$

$$\left( \frac{\partial V_k^2}{\partial f_m} \right)_n = \frac{\partial}{\partial f_m} \left( e_k^{2n} + f_k^{2n} \right) = 0$$

# ニュートンラフソン法の適用 直交座標10

- 修正方程式の係数(反復回数n回目)
  - 対角要素k=m

$$\begin{aligned}\left(\frac{\partial P_k}{\partial e_k}\right)_n &= \frac{\partial}{\partial e_k} \sum_{i=1}^N \left( G_{ki} e_i^n e_k^n - B_{ki} e_k^n f_i^n + G_{ki} f_i^n f_k^n + B_{ki} e_i^n f_k^n \right) \\ &= \sum_{i=1}^N \left( G_{ki} e_i^n - B_{ki} f_i^n \right) + G_{kk} e_k^n + B_{kk} f_k^n \\ &= a_k^n + G_{kk} e_k^n + B_{kk} f_k^n\end{aligned}$$

# ニュートンラフソン法の適用 直交座標11

- 修正方程式の係数(反復回数n回目)
  - 対角要素k=m

$$\begin{aligned}\left(\frac{\partial Q_k}{\partial e_k}\right)_n &= \frac{\partial}{\partial e_k} \sum_{i=1}^N \left( -G_{ki} e_k^n f_i^n - B_{ki} e_k^n e_i^n + G_{ki} e_i^n f_k^n - B_{ki} f_i^n f_k^n \right) \\ &= \sum_{i=1}^N \left( -G_{ki} f_i^n - B_{ki} e_i^n \right) + G_{kk} f_k^n - B_{kk} e_k^n \\ &= -\sum_{i=1}^N \left( G_{ki} f_i^n + B_{ki} e_i^n \right) + G_{kk} f_k^n - B_{kk} e_k^n \\ &= -b_k^n + G_{kk} f_k^n - B_{kk} e_k^n\end{aligned}$$

# ニュートンラフソン法の適用 直交座標12

- 修正方程式の係数(反復回数n回目)
  - 対角要素k=m

$$\begin{aligned}\left(\frac{\partial P_k}{\partial f_k}\right)_n &= \frac{\partial}{\partial f_k} \sum_{i=1}^N \left( G_{ki} e_i^n e_k^n - B_{ki} e_k^n f_i^n + G_{ki} f_i^n f_k^n + B_{ki} e_i^n f_k^n \right) \\ &= \sum_{i=1}^N \left( G_{ki} f_i^n + B_{ki} e_i^n \right) - B_{kk} e_k^n + G_{kk} f_k^n \\ &= b_k^n + G_{kk} f_k^n - B_{kk} e_k^n \\ &= \left(\frac{\partial Q_k}{\partial e_k}\right)_n - 2b_k^n\end{aligned}$$

# ニュートンラフソン法の適用 直交座標13

- 修正方程式の係数(反復回数n回目)
  - 対角要素k=m

$$\begin{aligned}\left(\frac{\partial Q_k}{\partial f_k}\right)_n &= \frac{\partial}{\partial f_k} \sum_{i=1}^N \left( -G_{ki} e_k^n f_i^n - B_{ki} e_k^n e_i^n + G_{ki} e_i^n f_k^n - B_{ki} f_i^n f_k^n \right) \\ &= \sum_{i=1}^N \left( G_{ki} e_i^n - B_{ki} f_i^n \right) - G_{kk} e_k^n - B_{kk} f_k^n \\ &= a_k^n - G_{kk} e_k^n - B_{kk} f_k^n \\ &= -\left(\frac{\partial P_k}{\partial e_k}\right)_n + 2a_k^n\end{aligned}$$



# ニュートンラフソン法の適用 直交座標14

- 修正方程式の係数(反復回数n回目)
  - 対角要素k=m

$$\left( \frac{\partial V_k^2}{\partial e_k} \right)_n = \frac{\partial}{\partial e_k} \left( e_k^{2n} + f_k^{2n} \right) = 2e_k^n$$

$$\left( \frac{\partial V_k^2}{\partial f_k} \right)_n = \frac{\partial}{\partial f_k} \left( e_k^{2n} + f_k^{2n} \right) = 2f_k^n$$

# ニュートンラフソン法の適用 直交座標15

- n回目の反復計算により得られた母線電圧

$$\dot{V}_k^n = e_k^n + jf_k^n \quad k = 2, 3, \dots, N$$

- n+1回目の反復計算により得られる母線電圧

$$\begin{aligned}\dot{V}_k^{n+1} &= e_k^{n+1} + jf_k^{n+1} \\ &= e_k^n + \Delta e_k^n + j(f_k^n + \Delta f_k^n)\end{aligned}$$

- 母線電圧を用いて次の値を求める

$$\Delta P_g^{n+1}, |\Delta V_g^{n+1}|, \Delta P_l^{n+1}, \Delta Q_l^{n+1}$$