

# 電力システム解析論

## 第10回 潮流計算3

平成24年12月21日

## ニュートンラフソン法

- 2変数の2関数 
$$\begin{cases} f_1(x_1, x_2) = K_1 \\ f_2(x_1, x_2) = K_2 \end{cases}$$
  - 変数 $x_1, x_2$ , 関数 $f_1, f_2$ , 定数 $K_1, K_2$
  - テーラー展開の二階以上の項を無視

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

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

# 有効・無効電力の計算

## 直交座標

- 電圧  $\dot{V}_k = e_k + jf_k$
- アドミタンス  $\dot{Y}_{km} = G_{km} + jB_{km}$
- 電力

$$\begin{aligned}
 P_k + jQ_k &= \dot{V}_k \bar{\dot{I}}_k \\
 &= \sum_{m=1}^N \bar{\dot{Y}}_{km} \bar{\dot{V}}_m \dot{V}_k \\
 &= \sum_{m=1}^N (G_{km} - jB_{km}) (e_m - jf_m) (e_k + jf_k)
 \end{aligned}$$

2012/12/21

電力システム解析論

## 極座標

- 電圧  $\dot{V}_k = V_k \angle \delta_k = V_k e^{j\delta_k}$
- アドミタンス
- 電力  $\dot{Y}_{km} = Y_{km} \angle \theta_{km} = Y_{km} e^{j\theta_{km}}$

$$\begin{aligned}
 P_k + jQ_k &= \dot{V}_k \bar{\dot{I}}_k \\
 &= \sum_{m=1}^N \bar{\dot{Y}}_{km} \bar{\dot{V}}_m \dot{V}_k \\
 &= \sum_{m=1}^N Y_{km} e^{-j\theta_{km}} V_m e^{-j\delta_m} V_k e^{j\delta_k} \\
 &= \sum_{m=1}^N V_k V_m Y_{km} e^{j(\delta_k - \delta_m - \theta_{km})}
 \end{aligned}$$

3

# ニュートンラフソン法の適用 極座標 1

## • 極座標での潮流計算

### - 電圧・アドミタンス

$$\begin{cases} \dot{V}_k = V_k \angle \delta_k \\ \dot{V}_m = V_m \angle \delta_m \end{cases} \quad \begin{aligned} \dot{Y}_{km} &= Y_{km} \angle \theta_{km} \\ \dot{I}_k &= \sum_{m=1}^N \dot{Y}_{km} \dot{V}_m = \sum_{m=1}^N Y_{km} V_m \angle \theta_{km} + \delta_m \end{aligned}$$

### - 電力

$$\begin{aligned}
 P_k + jQ_k &= \dot{V}_k \bar{\dot{I}}_k = V_k \angle \delta_k \sum_{m=1}^N Y_{km} V_m \angle -\theta_{km} - \delta_m = \sum_{m=1}^N V_k V_m Y_{km} \angle \delta_k - \delta_m - \theta_{km} \\
 \begin{cases} P_k = \sum_{m=1}^N V_k V_m Y_{km} \cos(\delta_k - \delta_m - \theta_{km}) \\ Q_k = \sum_{m=1}^N V_k V_m Y_{km} \sin(\delta_k - \delta_m - \theta_{km}) \end{cases}
 \end{aligned}$$

2012/12/21

電力システム解析論

4

# ニュートンラフソン法の適用 極座標2

## 修正方程式

– 指定値 $P_k, Q_k$ と計算値 $P_{k,calc}, Q_{k,calc}$ の誤差

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \Delta P_3 \\ \dots \\ \Delta Q_2 \\ \Delta Q_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_3} & \frac{\partial P_2}{\partial V_2} & \frac{\partial P_2}{\partial V_3} \\ \frac{\partial P_3}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_3}{\partial \delta_3} & \frac{\partial P_3}{\partial V_2} & \frac{\partial P_3}{\partial V_3} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_3} & \frac{\partial Q_2}{\partial V_2} & \frac{\partial Q_2}{\partial V_3} \\ \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_3} & \frac{\partial Q_3}{\partial V_2} & \frac{\partial Q_3}{\partial V_3} \\ \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_3} & \frac{\partial Q_3}{\partial V_2} & \frac{\partial Q_3}{\partial V_3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2 \\ \Delta \delta_3 \\ \dots \\ \Delta V_2 \\ \Delta V_3 \end{bmatrix}$$

ヤコビアン  
(いまから求める)

2012/12/21

電力システム解析論

5

# ニュートンラフソン法の適用 極座標3

## 修正方程式の係数

$$\frac{\partial P_k}{\partial \delta_l} = \frac{\partial}{\partial \delta_l} \sum_{m=1}^N V_k V_m Y_{km} \cos(\delta_k - \delta_m - \theta_{km})$$

– 非対角項 $l \neq k$

$$\frac{\partial P_k}{\partial \delta_l} = V_k V_l Y_{kl} \sin(\delta_k - \delta_l - \theta_{kl})$$

– 対角項 $l = k$

$$\frac{\partial P_k}{\partial \delta_l} = \frac{\partial P_k}{\partial \delta_k} = \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^N V_k V_m Y_{km} \sin(\delta_k - \delta_m - \theta_{km})$$

2012/12/21

電力システム解析論

6

# ニュートンラフソン法の適用 極座標4

- 修正方程式の係数

$$\frac{\partial Q_k}{\partial \delta_l} = \frac{\partial}{\partial \delta_l} \sum_{m=1}^N V_k V_m Y_{km} \sin(\delta_k - \delta_m - \theta_{km})$$

– 非対角項  $l \neq k$

$$\frac{\partial Q_k}{\partial \delta_l} = -V_k V_l Y_{kl} \cos(\delta_k - \delta_l - \theta_{kl})$$

– 対角項  $l = k$

$$\frac{\partial Q_k}{\partial \delta_l} = \frac{\partial Q_k}{\partial \delta_k} = - \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^N V_k V_m Y_{km} \cos(\delta_k - \delta_m - \theta_{km})$$

# ニュートンラフソン法の適用 極座標 5

- 修正方程式の係数

$$\frac{\partial P_k}{\partial V_l} = \frac{\partial}{\partial V_l} \sum_{m=1}^N V_k V_m Y_{km} \cos(\delta_k - \delta_m - \theta_{km})$$

– 非対角項  $l \neq k$

$$\frac{\partial P_k}{\partial V_l} = V_k Y_{kl} \cos(\delta_k - \delta_l - \theta_{kl})$$

– 対角項  $l = k$

$$\frac{\partial P_k}{\partial V_l} = \frac{\partial P_k}{\partial V_k} = \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^N V_m Y_{km} \cos(\delta_k - \delta_m - \theta_{km}) + 2V_k Y_{kk} \cos \theta_{kk}$$

# ニュートンラフソン法の適用 極座標6

- 修正方程式の係数

$$\frac{\partial Q_k}{\partial V_l} = \frac{\partial}{\partial V_l} \sum_{m=1}^N V_k V_m Y_{km} \sin(\delta_k - \delta_m - \theta_{km})$$

- 非対角項  $l \neq k$

$$\frac{\partial Q_k}{\partial V_l} = V_k Y_{kl} \sin(\delta_k - \delta_l - \theta_{kl})$$

- 対角項  $l = k$

$$\frac{\partial Q_k}{\partial V_l} = \frac{\partial Q_k}{\partial V_k} = \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^N V_m Y_{km} \sin(\delta_k - \delta_m - \theta_{km}) + 2V_k Y_{kk} \sin \theta_{kk}$$

# ニュートンラフソン法の適用 極座標7

- 潮流計算へのニュートンラフソン法の適用

- PV指定母線

- 電圧は与えられているので求める必要が無い
  - 行列の次数が低くなる
- 位相角のみ求める

- 極座標表示と直交座標表示

- 極座標表示では,  $P_k$ と $\delta_k$ ,  $Q_k$ と $|V_k|$ の関係が明示的に現れる

# 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

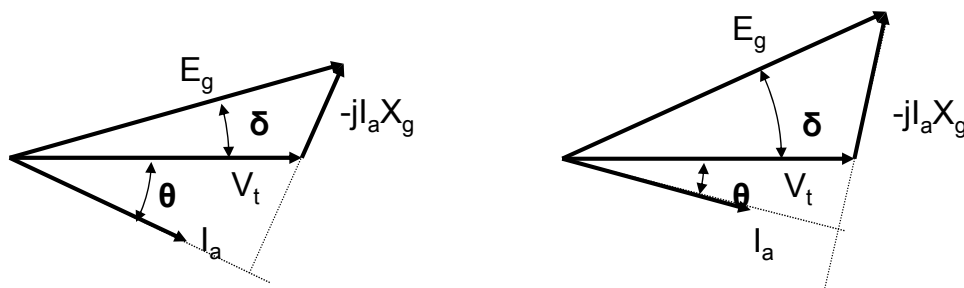
2012/12/21

電力システム解析論

11

## 発電機制御と電力潮流

- 母線電圧 $V_t$ と発電機起電力 $E_g$ の関係を表すフェーザ図



- 起電力 $E_g$ 一定(界磁一定)で, 原動機入力を大きくすると,  $E_g$ と $V_t$ の角度差 $\cdot I_a$ が増大, 力率角減少

2012/12/21

電力システム解析論

12

# 電力方程式

- 母線電圧  $V_t = |V_t| \angle 0^\circ$
- 発電機内部電圧  $E_g = |E_g| \angle \delta$
- 発電機内部リアクタンス  $X_g$
- 発電機端子電流  $I_a = \frac{|E_g| \angle \delta - V_t}{jX_g}$
- 発電機出力電力  $P + jQ = V_t \bar{I}_a = \frac{|V_t| |E_g| \angle -\delta - |V_t|^2}{-jX_g}$ 
  - 有効電力  $P = \frac{|V_t| |E_g|}{X_g} \sin \delta$
  - 無効電力  $Q = \frac{|V_t|}{X_g} (|E_g| \cos \delta - |V_t|)$

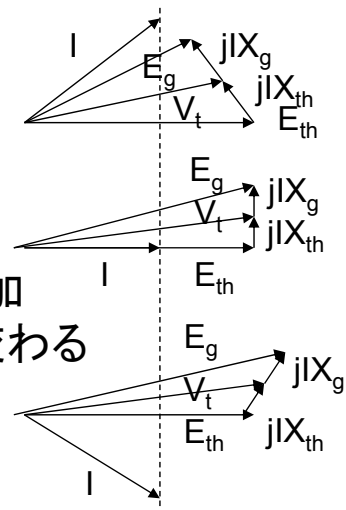
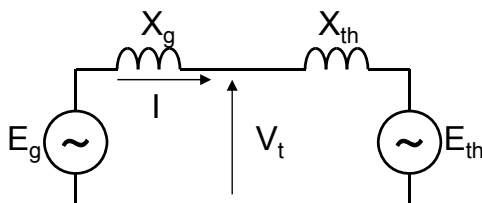
2012/12/21

電力システム解析論

13

## 母線電圧の制御 発電機の界磁制御

- 発電機母線 → PV指定
  - Qは潮流計算で求まる
  - フェーザ図
    - P一定,  $E_{th}$ 一定
    - $V_t$ 大 →  $E_g$ 大 → 発電機の励磁増加  
電流Iの位相遅れる → 無効電力増加  
← 界磁によりQ調整すると電圧も変わる



2012/12/21

電力システム解析論

14