Estimação de Estados no Nível de Seção de Barra

Prof. Antonio Simões Costa, EEL, UFSC

LABSPOT

Modelagem da rede no nível de Seção de Barra

- Erros em medidas digitais processadas na etapa de configuração de subestações pode levar à ocorrência de Erros deTopologia;

Modelagem da rede no nível de Seção de Barra

- Erros em medidas digitais processadas na etapa de configuração de subestações pode levar à ocorrência de Erros deTopologia;
- Erros de topologia manifestam-se na EESP como erros grosseiros múltiplos, cujas causas são difíceis de rastrear;

Modelagem da rede no nível de Seção de Barra

- Erros em medidas digitais processadas na etapa de configuração de subestações pode levar à ocorrência de Erros deTopologia;
- Erros de topologia manifestam-se na EESP como erros grosseiros múltiplos, cujas causas são difíceis de rastrear;
- Solução: validar dados dos *status* de disjuntores no nível de subestação;

Modelagem da rede no nível de Seção de Barra

- Erros em medidas digitais processadas na etapa de configuração de subestações pode levar à ocorrência de Erros deTopologia;
- Erros de topologia manifestam-se na EESP como erros grosseiros múltiplos, cujas causas são difíceis de rastrear;
- Solução: validar dados dos *status* de disjuntores no nível de subestação;
- Para tal, o modelo de rede barra-ramo convencional deve ser substituido por modelos mais detalhados, nos quais seções de barra e disjuntores possam ser explicitamente representados;

Modelagem da rede no nível de Seção de Barra

- Erros em medidas digitais processadas na etapa de configuração de subestações pode levar à ocorrência de Erros deTopologia;
- Erros de topologia manifestam-se na EESP como erros grosseiros múltiplos, cujas causas são difíceis de rastrear;
- Solução: validar dados dos *status* de disjuntores no nível de subestação;
- Para tal, o modelo de rede barra-ramo convencional deve ser substituido por modelos mais detalhados, nos quais seções de barra e disjuntores possam ser explicitamente representados;
- Neste nível de detalhamento, ramos de impedância nula *(disjuntores fechados)* e ramos de impedância infinita *(disjuntores abertos)*, devem ser modelados;

- Erros em medidas digitais processadas na etapa de configuração de subestações pode levar à ocorrência de Erros deTopologia;
- Erros de topologia manifestam-se na EESP como erros grosseiros múltiplos, cujas causas são difíceis de rastrear;
- Solução: validar dados dos *status* de disjuntores no nível de subestação;
- Para tal, o modelo de rede barra-ramo convencional deve ser substituido por modelos mais detalhados, nos quais seções de barra e disjuntores possam ser explicitamente representados;
- Neste nível de detalhamento, ramos de impedância nula *(disjuntores fechados)* e ramos de impedância infinita *(disjuntores abertos)*, devem ser modelados;
- Isto requer a definição de novas variáveis de estado, em adição às convencionais (ângulo e módulo das tensões nas barras).

Modelagem de Ramos de Impedância Nula

- Supor que se deseja modelar o ramo $i - j$, cuja impedância é nula, para representação em problemas de estimação de estados;

Modelagem de Ramos de Impedância Nula

- Supor que se deseja modelar o ramo $i - j$, cuja impedância é nula, para representação em problemas de estimação de estados;
- Requisito: impedância do ramo $i - j$ não deve aparecer no modelo matemático da rede (matriz Jacobiana, etc.);

Modelagem de Ramos de Impedância Nula

- Supor que se deseja modelar o ramo $i - j$, cuja impedância é nula, para representação em problemas de estimação de estados;
- Requisito: impedância do ramo $i - j$ não deve aparecer no modelo matemático da rede (matriz Jacobiana, etc.);
- Alterações introduzidas na formulação convencional da estimação de estados:

Modelagem de Ramos de Impedância Nula

- Supor que se deseja modelar o ramo $i - j$, cuja impedância é nula, para representação em problemas de estimação de estados;
- Requisito: impedância do ramo $i - j$ não deve aparecer no modelo matemático da rede (matriz Jacobiana, etc.);
- Alterações introduzidas na formulação convencional da estimação de estados:

  1. Impedância nula $\Rightarrow$ diferença angular $\theta_i - \theta_j$ e queda de tensão $V_i - V_j$ são ambas iguais a zero:

$$\begin{array}{rcccl} \Delta\theta_{ij} & = & \theta_i - \theta_j & = & 0 \\ \Delta V_{ij} & = & V_i - V_j & = & 0 \end{array}$$

Modelagem de Ramos de Impedância Nula

- Supor que se deseja modelar o ramo $i - j$, cuja impedância é nula, para representação em problemas de estimação de estados;
- Requisito: impedância do ramo $i - j$ não deve aparecer no modelo matemático da rede (matriz Jacobiana, etc.);
- Alterações introduzidas na formulação convencional da estimação de estados:

  1. Impedância nula $\Rightarrow$ diferença angular $\theta_i - \theta_j$ e queda de tensão $V_i - V_j$ são ambas iguais a zero:

$$\begin{aligned} \Delta\theta_{ij} &= \theta_i - \theta_j &= 0 \\ \Delta V_{ij} &= V_i - V_j &= 0 \end{aligned}$$

  2. Esta informação deve ser inserida no modelo matemático, mediante

Modelagem de Ramos de Impedância Nula

- Supor que se deseja modelar o ramo $i - j$, cuja impedância é nula, para representação em problemas de estimação de estados;
- Requisito: impedância do ramo $i - j$ não deve aparecer no modelo matemático da rede (matriz Jacobiana, etc.);
- Alterações introduzidas na formulação convencional da estimação de estados:

  1. Impedância nula $\Rightarrow$ diferença angular $\theta_i - \theta_j$ e queda de tensão $V_i - V_j$ são ambas iguais a zero:

  $$\begin{aligned} \Delta\theta_{ij} &= \theta_i - \theta_j &= 0 \\ \Delta V_{ij} &= V_i - V_j &= 0 \end{aligned}$$

  2. Esta informação deve ser inserida no modelo matemático, mediante
     - pseudo-medidas, ou

Modelagem de Ramos de Impedância Nula

- Supor que se deseja modelar o ramo $i - j$, cuja impedância é nula, para representação em problemas de estimação de estados;
- Requisito: impedância do ramo $i - j$ não deve aparecer no modelo matemático da rede (matriz Jacobiana, etc.);
- Alterações introduzidas na formulação convencional da estimação de estados:

1. Impedância nula $\Rightarrow$ diferença angular $\theta_i - \theta_j$ e queda de tensão $V_i - V_j$ são ambas iguais a zero:

$$\begin{aligned} \Delta\theta_{ij} &= \theta_i - \theta_j &= 0 \\ \Delta V_{ij} &= V_i - V_j &= 0 \end{aligned}$$

2. Esta informação deve ser inserida no modelo matemático, mediante
   - pseudo-medidas, ou
   - restrições de igualdade.

Modelagem de Ramos de Impedância Infinita

- Supor que se deseja modelar o ramo $i - j$, cuja impedância é infinita, para representação em problemas de estimação de estados;

Modelagem de Ramos de Impedância Infinita

- Supor que se deseja modelar o ramo $i - j$, cuja impedância é infinita, para representação em problemas de estimação de estados;
- Como no caso anterior, a impedância infinita não deve aparecer no modelo matemático da rede;

Modelagem de Ramos de Impedância Infinita

- Supor que se deseja modelar o ramo $i - j$, cuja impedância é infinita, para representação em problemas de estimação de estados;
- Como no caso anterior, a impedância infinita não deve aparecer no modelo matemático da rede;
- Alterações introduzidas na formulação convencional da estimação de estados:

Modelagem de Ramos de Impedância Infinita

- Supor que se deseja modelar o ramo $i - j$, cuja impedância é infinita, para representação em problemas de estimação de estados;
- Como no caso anterior, a impedância infinita não deve aparecer no modelo matemático da rede;
- Alterações introduzidas na formulação convencional da estimação de estados:
    1. Definir os fluxos de potência ativa e reativa t_{ij} e u_{ij} no ramo $i - j$ como novas variáveis de estado a serem estimadas;

- Supor que se deseja modelar o ramo $i - j$, cuja impedância é infinita, para representação em problemas de estimação de estados;
- Como no caso anterior, a impedância infinita não deve aparecer no modelo matemático da rede;
- Alterações introduzidas na formulação convencional da estimação de estados:
  1. Definir os fluxos de potência ativa e reativa t_{ij} e u_{ij} no ramo $i - j$ como novas variáveis de estado a serem estimadas;
  2. Impedância infinita $\Rightarrow$ fluxos de potência ativa e reativa no ramo $i - j$ são ambas iguais a zero:

$$\begin{aligned} t_{ij} &= 0 \\ u_{ij} &= 0 \end{aligned}$$

Modelagem de Ramos de Impedância Infinita

- Supor que se deseja modelar o ramo $i - j$, cuja impedância é infinita, para representação em problemas de estimação de estados;
- Como no caso anterior, a impedância infinita não deve aparecer no modelo matemático da rede;
- Alterações introduzidas na formulação convencional da estimação de estados:
  1. Definir os fluxos de potência ativa e reativa t_{ij} e u_{ij} no ramo $i - j$ como novas variáveis de estado a serem estimadas;
  2. Impedância infinita $\Rightarrow$ fluxos de potência ativa e reativa no ramo $i - j$ são ambas iguais a zero:
  $$\begin{aligned} t_{ij} &= 0 \\ u_{ij} &= 0 \end{aligned}$$
  3. Como no caso anterior, esta informação deve ser inserida no modelo matemático, mediante pseudomedidas ou restrições de igualdade.

1. Eventuais medidas de fluxo no ramo $i - j$ serão agora expressas unicamente em termos das novas variáveis de estado, e não como funções dos estados convencionais θ_i, θ_j, V_i e V_j, isto é:

$$z_{t_{ij}} = t_{ij} + \eta_{t_{ij}}$$
$$z_{u_{ij}} = u_{ij} + \eta_{u_{ij}}$$

Alterações no Modelo de Medição (I)
(Usando pseudomedidas)

1. Eventuais medidas de fluxo no ramo $i - j$ serão agora expressas unicamente em termos das novas variáveis de estado, e não como funções dos estados convencionais θ_i, θ_j, V_i e V_j, isto é:

$$z_{t_{ij}} = t_{ij} + \eta_{t_{ij}}$$
$$z_{u_{ij}} = u_{ij} + \eta_{u_{ij}}$$

2. Expressões das medidas de injeção de potência ativa e reativa nos nós i e j também devem ser modificadas:

Alterações no Modelo de Medição (I)

(Usando pseudomedidas)

1. Eventuais medidas de fluxo no ramo $i - j$ serão agora expressas unicamente em termos das novas variáveis de estado, e não como funções dos estados convencionais θ_i, θ_j, V_i e V_j, isto é:

$$z_{t_{ij}} = t_{ij} + \eta_{t_{ij}}$$
$$z_{u_{ij}} = u_{ij} + \eta_{u_{ij}}$$

2. Expressões das medidas de injeção de potência ativa e reativa nos nós i e j também devem ser modificadas:
   1. Usa-se o fato de que injeções são a soma dos fluxos de potência nos ramos incidentes no nó em que a injeção é medida;

1. Eventuais medidas de fluxo no ramo $i-j$ serão agora expressas unicamente em termos das novas variáveis de estado, e não como funções dos estados convencionais θ_i, θ_j, V_i e V_j, isto é:

$$z_{t_{ij}} = t_{ij} + \eta_{t_{ij}}$$
$$z_{u_{ij}} = u_{ij} + \eta_{u_{ij}}$$

2. Expressões das medidas de injeção de potência ativa e reativa nos nós i e j também devem ser modificadas:
    1. Usa-se o fato de que injeções são a soma dos fluxos de potência nos ramos incidentes no nó em que a injeção é medida;
    2. Ramos incidentes convencionais: componentes de fluxo calculados na maneira usual (isto é, em termos dos ângulos e magnitudes das tensões nas barras);

Alterações no Modelo de Medição (I)

(Usando pseudomedidas)

1. Eventuais medidas de fluxo no ramo $i - j$ serão agora expressas unicamente em termos das novas variáveis de estado, e não como funções dos estados convencionais θ_i, θ_j, V_i e V_j, isto é:

$$z_{t_{ij}} = t_{ij} + \eta_{t_{ij}}$$
$$z_{u_{ij}} = u_{ij} + \eta_{u_{ij}}$$

2. Expressões das medidas de injeção de potência ativa e reativa nos nós i e j também devem ser modificadas:
    1. Usa-se o fato de que injeções são a soma dos fluxos de potência nos ramos incidentes no nó em que a injeção é medida;
    2. Ramos incidentes convencionais: componentes de fluxo calculados na maneira usual (isto é, em termos dos ângulos e magnitudes das tensões nas barras);
    3. Ramos incidentes de impedância nula: componente de fluxo expresso diretamente em função das variáveis de estado t_{ij} e u_{ij}.

Alterações no Modelo de Medição (II)
(Usando pseudomedidas)

- Assim, se Ω_i e Γ_i representam respectivamente o conjunto de ramos convencionais e ramos chaveáveis incidentes na barra i :

$$
\begin{aligned}
z_{p_i} &= \sum_{k\in\Omega_i} t_{ik}(\theta_i,\theta_k,V_i,V_k) + \sum_{\ell\in\Gamma_i} t_{i\ell} + \eta_{p_i} \\
z_{q_i} &= \sum_{k\in\Omega_i} u_{ik}(\theta_i,\theta_k,V_i,V_k) + \sum_{\ell\in\Gamma_i} u_{i\ell} + \eta_{q_i} \\
z_{p_j} &= \sum_{k\in\Omega j} t_{jk}(\theta_j,\theta_k,V_j,V_k) + \sum_{\ell\in\Gamma_j} t_{j\ell} + \eta_{p_j} \\
z_{q_j} &= \sum_{k\in\Omega j} u_{jk}(\theta_j,\theta_k,V_j,V_k) + \sum_{\ell\in\Gamma_j} u_{j\ell} + \eta_{q_j}
\end{aligned}
$$

Considerando:

- Um único ramo chaveável, $i - j$;
- $H_{p\theta}$: submatriz de $\mathbf{H}$ correspondente às medidas usuais que não incidem no ramo de impedância nula;
- h_{p_i} e h_{p_j}: linhas de $\mathbf{H}$ correspondentes às medidas z_{p_i} e z_{p_j} escritas na forma convencional, porém sem incluir o fluxo t_{ij}:

$$\overline{\mathbf{H}}_{p\theta} = \begin{array}{c} \\ \mathbf{z} \\ z_{p_i} \\ z_{p_j} \\ z_{t_{ij}} \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} \theta_i & \theta_j & t_{ij} \end{array} \\ \left[\begin{array}{cc|c} \multicolumn{2}{c|}{H_{p\theta}} & \mathbf{0} \\ \hline \multicolumn{2}{c|}{h_{p_i}} & 1 \\ \multicolumn{2}{c|}{h_{p_j}} & -1 \\ \hline 0 & 0 & 1 \end{array} \right] \end{array}$$

Considerações Finais

- A estrutura da matriz Jacobiana generalizada $\overline{\mathbf{H}}_{p\theta}$ do slide anterior pode ser facilmente estendida para o caso de vários ramos chaveáveis;

Considerações Finais

- A estrutura da matriz Jacobiana generalizada $\overline{\mathbf{H}}_{p\theta}$ do slide anterior pode ser facilmente estendida para o caso de vários ramos chaveáveis;
- Embora a metodologia descrita acima trate as equações que refletem o status de disjuntores como pseudomedidas, esta informação pode ser modelada como restrições de igualdade;

Considerações Finais

- A estrutura da matriz Jacobiana generalizada $\overline{\mathbf{H}}_{p\theta}$ do slide anterior pode ser facilmente estendida para o caso de vários ramos chaveáveis;
- Embora a metodologia descrita acima trate as equações que refletem o status de disjuntores como pseudomedidas, esta informação pode ser modelada como restrições de igualdade;
- Para isso, as seguintes relações deixam de fazer parte da matriz Jacobiana do modelo de medição e passam a ser tratadas como restrições de igualdade do problema de estimação de estados:

Considerações Finais

- A estrutura da matriz Jacobiana generalizada $\overline{\mathbf{H}}_{p\theta}$ do slide anterior pode ser facilmente estendida para o caso de vários ramos chaveáveis;
- Embora a metodologia descrita acima trate as equações que refletem o status de disjuntores como pseudomedidas, esta informação pode ser modelada como restrições de igualdade;
- Para isso, as seguintes relações deixam de fazer parte da matriz Jacobiana do modelo de medição e passam a ser tratadas como restrições de igualdade do problema de estimação de estados:
  - Restrições Operacionais: equações que modelam os *status* (aberto/fechado) dos ramos chaveáveis, e

Considerações Finais

- A estrutura da matriz Jacobiana generalizada $\overline{\mathbf{H}}_{p\theta}$ do slide anterior pode ser facilmente estendida para o caso de vários ramos chaveáveis;
- Embora a metodologia descrita acima trate as equações que refletem o status de disjuntores como pseudomedidas, esta informação pode ser modelada como restrições de igualdade;
- Para isso, as seguintes relações deixam de fazer parte da matriz Jacobiana do modelo de medição e passam a ser tratadas como restrições de igualdade do problema de estimação de estados:
  - Restrições Operacionais: equações que modelam os *status* (aberto/fechado) dos ramos chaveáveis, e
  - Restrições Estruturais:Equações de injeções em nós onde incidem ramos chaveáveis.