MÉTODO PARA IDENTIFICAÇÃO DO NÍVEL DE REDUNDÂNCIA DAS MEDIDAS ASSOCIADAS A UM SISTEMA DE POTÊNCIA OBSERVÁVEL

Prof. João Bosco A. London Junior
Departamento de Engenharia Elétrica - EESC - USP
E-mail: jbalj@sc.usp.br

1.Método para identificação do NRL das medidas associadas a um sistema de potência observável

- Inicialmente o método permite a identificação:
  - Medida crítica
  - Par crítico de medidas
  - Trio crítico de medidas
- **Medida com nível de redundância 0 -** medida crítica
- **Medida com nível de redundância 1 -** não crítica que aparece em, pelo menos, um par crítico de medidas
- **Medida com nível de redundância 2 -** não crítica que não aparece em nenhum par crítico de medidas, mas em, pelo menos, um trio crítico de medidas

1.Método para identificação do NRL das medidas associadas a um sistema de potência observável

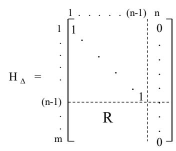
- Matriz Jacobiana H
- Um sistema de potência é algébricamente observável se:

  Posto (H) = 2n-1 ⇒ n = $\underline{V}$, (n-1) = $\underline{\theta}$

- Medida crítica
- Par crítico de medidas
- Trio crítico de medidas

1.Método para identificação do NRL das medidas associadas a um sistema de potência observável

- **<u>Teorema</u> :** Modelo Pθ



$$\underline{Z} \xleftarrow{H} \underline{X} \xleftarrow{C^{-1}} \underline{X}_{eq}$$

$$\underline{Z} = \underbrace{[H].[C]^{-1}}_{H_\Delta}.\underline{X}_{eq}$$

1.Método para identificação do NRL das medidas associadas a um sistema de potência observável

$$H_{\Delta} = \begin{array}{c} \\ 1 \\ \vdots \\ (n\text{-}1) \\ \vdots \\ m \end{array} \begin{array}{c} 1 \; . \; . \; . \; . \; . \; (n\text{-}1) \quad n \\ \left[\begin{array}{c:c} I_{(n-1)} & 0 \\ & \vdots \\ \hdashline R & \vdots \\ & 0 \end{array}\right] \end{array}$$

I ⇒ Medidas básicas

R ⇒ Medidas suplementares

- Os elementos não nulos, que aparecem em uma coluna da matriz H_{Δ}, indicam as medidas que dão informação da variável de estado equivalente associada àquela coluna
- Identificação dos conjuntos p-críticos que contém apenas uma Medida Básica

1.Método para identificação do NRL das medidas associadas a um sistema de potência observável

$$H_{\Delta} = \begin{array}{c} \\ 1 \\ \vdots \\ (n\text{-}1) \\ \vdots \\ m \end{array} \begin{array}{c} 1 \; . \; . \; . \; . \; . \; (n\text{-}1) \quad n \\ \left[\begin{array}{c:c} I_{(n-1)} & 0 \\ & \vdots \\ \hdashline R & \vdots \\ & 0 \end{array}\right] \end{array}$$

I ⇒ Medidas básicas

R ⇒ Medidas suplementares

Definição 1: Conjunto p-crítico de medidas é um conjunto de ‘p’ medidas ($p \geq 1$), associadas a um sistema de potência observável, que caso perdidas tornam tal sistema não observável (a remoção de qualquer conjunto de k medidas, pertencentes a um conjunto p-crítico, com $k < p$, não causa a perda da observabilidade do sistema)

($p = 1$ ⟹ MC; $p = 2$ ⟹ Par Crítico; $p = 3$ ⟹ Trio Crítico)

1.Método para identificação do NRL das medidas associadas a um sistema de potência observável

$$H_{\Delta} = \begin{array}{c} \\ 1 \\ \vdots \\ (n\text{-}1) \\ \vdots \\ m \end{array} \begin{array}{c} 1 \; . \; . \; . \; . \; . \; (n\text{-}1) \quad n \\ \left[\begin{array}{c:c} I_{(n-1)} & 0 \\ & \vdots \\ \hdashline R & \vdots \\ & 0 \end{array}\right] \end{array}$$

I ⇒ Medidas básicas

R ⇒ Medidas suplementares

Definição 2: Uma medida tem nível de redundância *(p-1)*, se o conjunto *p*-crítico, com menor número de medidas, a que ela pertencer, possuir *p* medidas

1.Método para identificação do NRL das medidas associadas a um sistema de potência observável

- **Matriz H_{Δ}^{t}**

$$H_{\Delta}^{t} = \begin{array}{c} \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccccccc} F_1 & F_2 & I_4 & F_4 & F_5 & I_1 & F_3 & I_5 & I_6 \end{array} \\ \left[\begin{array}{ccccc|cccc} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array}\right] \end{array}$$

1.Método para identificação do NRL das medidas associadas a um sistema de potência observável

- **Matriz H_Δ^t**

$$H_{\Delta}^{t} = \begin{array}{c c} & \begin{array}{ccccccccc} F_1 & F_2 & I_4 & F_4 & F_5 & I_1 & F_3 & I_5 & I_6 \end{array} \\ \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{array} & \left[\begin{array}{ccccc|cccc} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right] \end{array}$$

1.Método para identificação do NRL das medidas associadas a um sistema de potência observável

- **Matriz H_Δ^t**

$$H_{\Delta}^{t} = \begin{array}{c c c} & \begin{array}{ccccccccc} F_1 & F_2 & I_4 & F_4 & F_5 & I_1 & F_3 & I_5 & I_6 \end{array} & \\ \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{array} & \left[\begin{array}{ccccc|cccc} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right] & \begin{array}{l} \\ \\ \text{medida crítica } I_4 \\ \\ \\ \\ \end{array} \end{array}$$

1.Método para identificação do NRL das medidas associadas a um sistema de potência observável

- **Matriz H_Δ^t**

$$H_{\Delta}^{t} = \begin{array}{c c c} & \begin{array}{ccccccccc} F_1 & F_2 & I_4 & F_4 & F_5 & I_1 & F_3 & I_5 & I_6 \end{array} & \\ \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{array} & \left[\begin{array}{ccccc|cccc} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right] & \begin{array}{l} \text{trio crítico } [F_1; I_1; F_3] \\ \text{trio crítico } [F_2; I_1; F_3] \\ \text{medida crítica } I_4 \\ \text{par crítico } [F_4; I_5] \\ \text{par crítico } [F_5; I_6] \\ \\ \end{array} \end{array}$$

- Identificação dos conjuntos p-críticos que contém mais de uma Medida Básica:
  - Aplicação recursiva da análise anterior

1.Método para identificação do NRL das medidas associadas a um sistema de potência observável

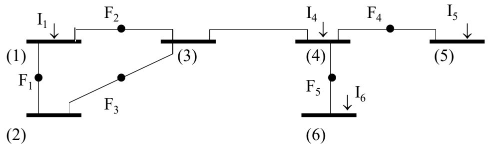
1°Etapa: Obtenção e triangulação da matriz H^t

2°Etapa: Identificação das medidas críticas (medidas com nível de redundância 0) e dos pares e trios críticos de medidas, que envolvam uma das medidas básicas, com as medidas suplementares

3°Etapa: Identificação dos pares e trios críticos de medidas, envolvendo mais de uma medida básica

4°Etapa: Identificação das medidas com nível de redundância 1 e 2

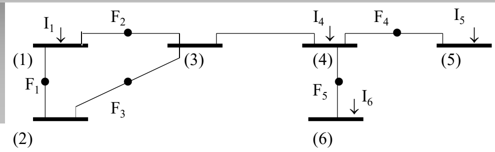
2.Exemplo



$H^t_{P\theta} =$

	F1	F2	F3	F4	F5	I1	I4	I5	I6
1	1	1	0	0	0	2	0	0	0
2	-1	0	1	0	0	-1	0	0	0
3	0	-1	-1	0	0	-1	-1	0	0
4	0	0	0	1	1	0	3	-1	-1
5	0	0	0	-1	0	0	-1	1	0
6	0	0	0	0	-1	0	-1	0	1

2.Exemplo

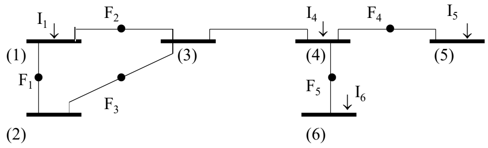


$H^t_{\Delta} =$

	F1	F2	I4	F4	F5	I1	F3	I5	I6
1	1	0	0	0	0	1	-1	0	0
2	0	1	0	0	0	1	1	0	0
3	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	0	0	0	-1	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0	-1
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0

1ªLinha: $[F_1;I_1;F_3]$
2ªLinha: $[F_2;I_1;F_3]$
3ªLinha: I_4
4ª Linha: $[F_4;I_5]$
5ª Linha: $[F_5;I_6]$

2.Exemplo

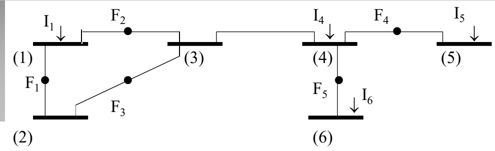


$H^t_{\Delta} =$

	F1	F2	I4	F4	F5	I1	F3	I5	I6
1	1	0	0	0	0	1	-1	0	0
2	0	1	0	0	0	1	1	0	0
3	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	0	0	0	-1	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0	-1
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0

1ªLinha: $[F_1;I_1;F_3]$
2ªLinha: $[F_2;I_1;F_3]$
3ªLinha: I_4
4ª Linha: $[F_4;I_5]$
5ª Linha: $[F_5;I_6]$

2.Exemplo

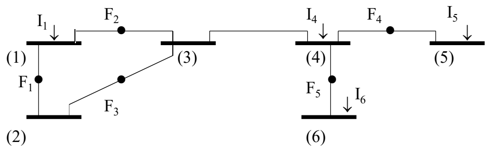


$H^t_{\Delta} =$

	F1	F2	I4	F4	F5	I1	F3	I5	I6
1	1	0	0	0	0	1	-1	0	0
2	0	1	0	0	0	1	1	0	0
3	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	0	0	0	-1	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0	-1
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0

1ªLinha: $[F_1;I_1;F_3]$
2ªLinha: $[F_2;I_1;F_3]$
3ªLinha: I_4
4ª Linha: $[F_4;I_5]$
5ª Linha: $[F_5;I_6]$

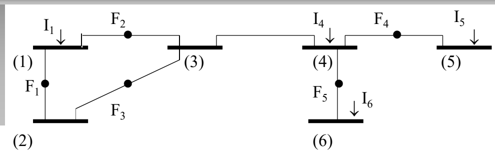
2.Exemplo



$H^t_{\Delta(F1)} =$

	I1	F2	I4	F4	F5	F3	I5	I6
1	1	0	0	0	0	-1	0	0
2	1	1	0	0	0	1	0	0
3	0	0	1	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	0	0	-1	0
5	0	0	0	0	1	0	0	-1
6	0	0	0	0	0	0	0	0

2.Exemplo



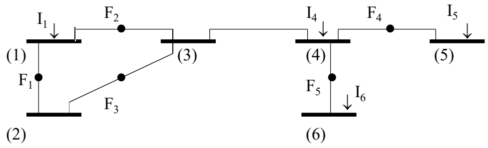
$H^t_{\Delta(F1)} =$

	I1	F2	I4	F4	F5	F3	I5	I6
1	1	0	0	0	0	-1	0	0
2	0	1	0	0	0	2	0	0
3	0	0	1	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	0	0	-1	0
5	0	0	0	0	1	0	0	-1
6	0	0	0	0	0	0	0	0

1º Linha: $[F_1;I_1;F_3]$ *

2º Linha: $[F_1;F_2;F_3]$ Novo

2.Exemplo



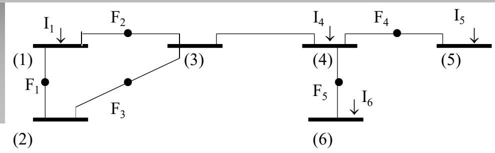
$H^t_{\Delta(F1)} =$

	I1	F2	I4	F4	F5	F3	I5	I6
1	1	0	0	0	0	-1	0	0
2	0	1	0	0	0	2	0	0
3	0	0	1	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	0	0	-1	0
5	0	0	0	0	1	0	0	-1
6	0	0	0	0	0	0	0	0

1º Linha: $[F_1;I_1;F_3]$ *

2º Linha: $[F_1;F_2;F_3]$ Novo

2.Exemplo



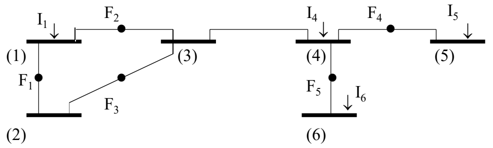
$H^t_{\Delta(F1)} =$

	I1	F2	I4	F4	F5	F3	I5	I6
1	1	0	0	0	0	-1	0	0
2	0	1	0	0	0	2	0	0
3	0	0	1	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	0	0	-1	0
5	0	0	0	0	1	0	0	-1
6	0	0	0	0	0	0	0	0

1º Linha: $[F_1;I_1;F_3]$ *

2º Linha: $[F_1;F_2;F_3]$ Novo

2.Exemplo



$$H^t_{\Delta(F1,F2)} = \begin{array}{c|ccccccc} & I1 & F3 & I4 & F4 & F5 & I5 & I6 \\ \hline 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array}$$

1º Linha : $[F_1;F_2;I_1]$ Novo

2º Linha : $[F_1;F_2;F_3]$ *

2.Exemplo

- Após a realização de todas as operações necessárias, obtém-se:
- Uma medida crítica: I_4
- Dois pares críticos: $[F_4; I_5]$,$[F_5; I_6]$
- Quatro trios críticos: $[F_1; I_1; F_3]$, $[F_2;I_1; F_3]$, $[F_1; F_2 ;F_3]$, $[F_1; F_2; I_1]$
- Medida com nível de redundância 0 : I_4
- Medida com nível de redundância 1: F_4 , F_5 , I_5 , I_6
- Medida com nível de redundância 2: F_1 , F_2 ,I_1 ,F_3

3.Publicação

- LONDON Jr., J.B.A.; ALBERTO, L.F.C. & BRETAS, N.G. (2001). "- Identificação do nível de redundância das medidas para efeito de estimação de estado em sistemas de potência". Revista Controle & Automação, Vol. 12, N°2, pp.141-147, maio/ Junho/ Julho/ Agosto.

MÉTODO PARA IDENTIFICAÇÃO DO NÍVEL DE REDUNDÂNCIA DAS MEDIDAS ASSOCIADAS A UM SISTEMA DE POTÊNCIA OBSERVÁVEL

Prof. João Bosco A. London Junior
Departamento de Engenharia Elétrica - EESC - USP
E-mail: jbalj@sc.usp.br