

Configurador de Redes para efeito de Estimação de Estado

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

1. Introdução

Configurador de Redes – Estimador de estado



Modelagem em tempo real dos Sistemas
Elétricos de Potência (SEP)

✓ Operação segura e confiável dos SEP

2

1. Introdução

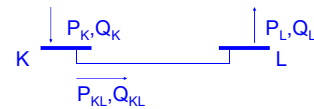
➤ Função do Configurador de Redes

- Determinar, em tempo real, a topologia atual da rede e a correspondente configuração de medidores, no modelo barra-ramo

3

1. Introdução

■ Modelo Barra – Ramo



- Barra – Subestações
- Ramo – linhas de transmissão e transformadores

4

1. Introdução

➤ Função do Configurador de Redes

- Determinar, em tempo real, a topologia atual da rede e a correspondente configuração de medidores, no modelo barra-ramo

➤ Função do Estimador de Estado

- Determinar as variáveis de estado do SEP (usualmente as tensões complexas nas barras) assumindo que a topologia da rede, no modelo barra-ramo, e a configuração de medidores foram corretamente determinadas pelo configurador de redes

5

1. Introdução

■ Configurador de Redes

- Deve-se destacar que além do estimador de estado, outros aplicativos de um sistema de gerenciamento de energia (do inglês EMS – *Energy Management System*) fazem uso da topologia do SEP obtida pelo configurador de redes, como por exemplo:
 - Análise de contingência
 - Fluxo de potência do operador
 - Fluxo de potência ótimo

6

✓ Importância do Configurador de Redes para efeito de Estimação de estado

1. Introdução

■ Etapas do processo de Estimação de Estado convencional:

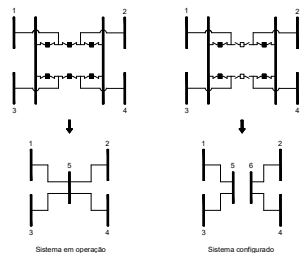
- 1º Obtenção da topologia do sistema no modelo barra ramo com a correspondente associação de medidores
- 2º Análise e restauração da observabilidade
- 3º Estimação de estado
- 4º Processamento de erros grosseiros em medidas analógicas

- Erros topológicos - são erros devido a informações erradas, quanto aos estados de chaves e/ou disjuntores

8

1. Introdução

• Na figura a seguir, observa-se que a barra 5 do sistema, no modelo barra-ramo, é dividida em duas, devido à exclusão dos ramos 2-5 e 4-5 e à inclusão dos ramos 2-6 e 4-6.

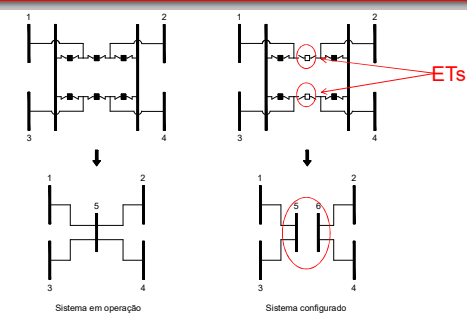


■ Disjuntor fechado
□ Disjuntor aberto

— Chave fechada
— Chave aberta

9

1. Introdução



■ Disjuntor fechado
□ Disjuntor aberto

— Chave fechada
— Chave aberta

10

2. Configurador de Redes para efeito de Estimação de Estado

2. Configurador de redes pra Efeito de Estimação de Estado

■ Função

Determinar, em tempo real, a topologia atual da rede e a correspondente configuração de medidores, no modelo barra-ramo, a partir do processamento de:

- Dados armazenados em um banco de dados estático, que descrevem a conexão dos equipamentos do sistema (geradores, transformadores, cargas, capacitores, linhas, transformadores de corrente e de potencial, medidores, etc) com as seções de barramento
- Medidas lógicas, que são obtidas continuamente pelo sistema SCADA (do inglês “*Supervisory Control and Data Acquisition*”) e que consistem em estados de chaves e disjuntores

12

2. Configurador de redes pra Efeito de Estimação de Estado

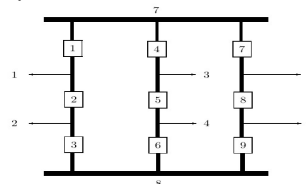
■ Características do processo:

- Seções de barramento que estão em um mesmo nível de tensão podem ser interconectadas pelo fechamento de dispositivos seccionadores (disjuntores e chaves) formando uma única barra no modelo barra - ramo
- Para diferentes combinações de status dos dispositivos seccionadores (DS) teremos, em geral, diferentes topologia da rede

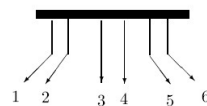
13

2. Configurador de redes pra Efeito de Estimação de Estado

- Subestação:

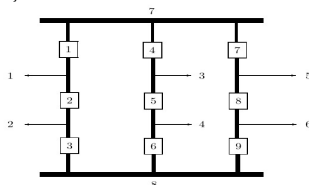


- Todos os DS fechados



2. Configurador de redes pra Efeito de Estimação de Estado

- Subestação:

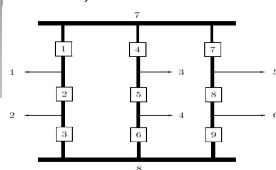


- Abertura do DS1

15

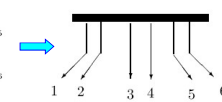
2. Configurador de redes pra Efeito de Estimação de Estado

- Subestação:



- Abertura do DS 1

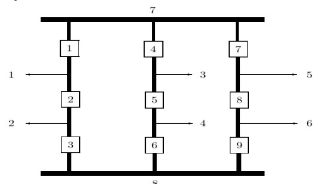
→ Abertura de um DS nem sempre implica na abertura de uma linha de transmissão



16

2. Configurador de redes pra Efeito de Estimação de Estado

- Subestação:

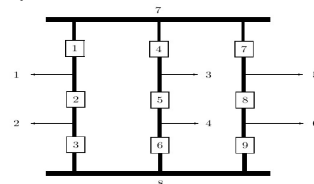


-Abertura dos DS: 2,5 e 8

17

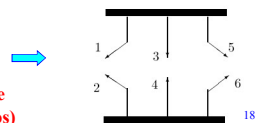
2. Configurador de redes pra Efeito de Estimação de Estado

- Subestação:



-Abertura dos DS: 2,5 e 8

A SE seria modelada através de duas Barras (ou dois nós elétricos)



18

2. Configurador de redes pra Efeito de Estimação de Estado

Características do processo:

- Para obter a topologia inicial de um SEP, o configurador de redes deve processar todos os circuitos (transformadores, linhas de transmissão, geradores, etc) e status dos dispositivos seccionadores disponíveis
- Depois dessa inicialização o configurador será executado novamente somente na ocorrência de mudanças na posição de dispositivos seccionadores que acarretam alterações na topologia inicial do SEP

2. Configurador de redes pra Efeito de Estimação de Estado

Mudança da topologia da rede

- Em algumas situações, a mudança no estado de algum dispositivo lógico acarreta apenas alterações na geração, ou em carregamento de determinadas barras, sem alterar a topologia da rede
- ✓ Em tais situações, como as matrizes associadas ao processo de estimação de estado não se alteram, não se faz necessário a execução do configurador de redes

20

2. Configurador de redes pra Efeito de Estimação de Estado

- Limitação dos primeiros configuradores desenvolvidos

Mesmo na ocorrência de uma alteração pequena no modelo barra-ramo, dava-se início a todo o processo de configuração de redes
- Configuradores “Tracking” que, armazenando a configuração proveniente da última execução, possibilitam uma rápida atualização da topologia da rede na ocorrência de pequenas alterações (busca localizada)

21

2. Configurador de redes pra Efeito de Estimação de Estado

- Saída do Configurador
 - Modelo Barra – Ramo com a correspondente associação de medidores
 - ✓ Cada barra deve ser identificada juntamente com sua geração, suas cargas e dispositivos em derivação
 - ✓ A conectividade entre as barras devido à presença de linhas de transmissão e transformadores deve também ser descrita
 - ✓ Deve identificar ilhamentos e descartar as ilhas que não tem geração, incluindo barras e ramos isolados

22

2. Configurador de redes pra Efeito de Estimação de Estado

- Os algoritmos básicos para configuração de redes são normalmente constituídos de 3 etapas:
 1. Configuração de Subestações
 2. Configuração de Rede
 3. Tabulação de Resultados

23

2. Configurador de redes pra Efeito de Estimação de Estado

- Quando o Configurador de Redes é utilizado para fins de estimação de estado, além da topologia da rede o mesmo deve associar as medidas realizadas nas subestações aos devidos componentes no modelo barra-ramo

24

3. Configurador de Redes Tradicional: Etapas do Processo

- ✓ Obtenção da topologia do SEP no modelo barra-ramo
- ✓ Associação de Medidores

3. Configurador de Redes Tradicional: Etapas do Processo

1. Configuração de Subestações

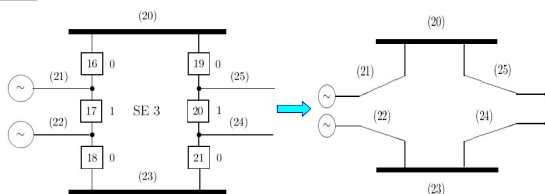
- Partindo-se da consideração inicial de que cada seção de barramento é uma barra potencialmente isolada, as posições de chaves e disjuntores são processadas usando técnicas de busca em árvores de grafo
- Ao final desta etapa, todas as seções de barramento interconectadas por dispositivos seccionadores (chaves e disjuntores) fechados irão compor uma única barra no modelo barra-ramo, que deve ser indicada de maneira bem definida, juntamente com as seções de barramento que a constituem

26

3. Configurador de Redes Tradicional: Etapas do Processo

1. Configuração de Subestações

Exemplo
0 – DS Fechado
1 – DS Aberto



27

3. Configurador de Redes Tradicional: Etapas do Processo

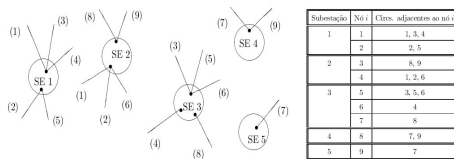
2. Configuração de Rede

- Após a configuração de cada Subestação do SEP, a etapa seguinte é a configuração da rede elétrica
- Durante esta etapa, os possíveis ilhamentos da rede são identificados
- Utiliza-se o mesmo procedimento básico de busca de uma árvore em um grafo. Entretanto, ao invés de se combinar seções de barramento através de dispositivos seccionadores fechados, agora as barras do modelo barra-ramo, determinadas na Etapa 1, são combinadas através de ramos (linhas de transmissão e transformadores) para formar ilhas
- Ao final desta etapa, todas as ilhas que tem geração são identificadas

3. Configurador de Redes Tradicional: Etapas do Processo

2. Configuração de Rede

Exemplo: Supondo que no final da etapa anterior (conf. de SE), verificou-se que as 5 SEs de um sistema hipotético geraram 9 barras (ou nós), conforme indicado a seguir:

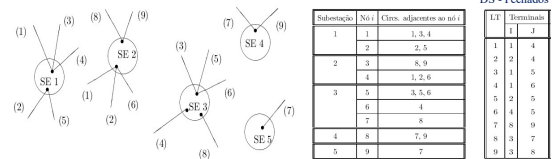


29

3. Configurador de Redes Tradicional: Etapas do Processo

2. Configuração de Rede

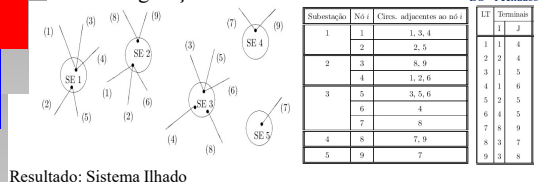
Exemplo: Supondo que no final da etapa anterior (conf. de SE), verificou-se que as 5 SEs de um sistema hipotético geraram 9 barras (ou nós), conforme indicado a seguir:



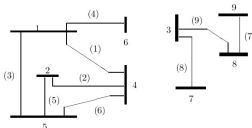
30

3. Configurador de Redes Tradicional: Etapas do Processo

2. Configuração de Rede



Resultado: Sistema Ilhado



31

3. Configurador de Redes Tradicional: Etapas do Processo

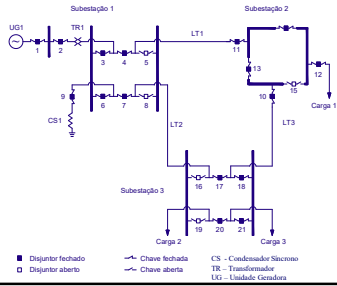
3. Tabulação de Resultados

- Trata-se da tabulação de todo equipamento conectado às barras no modelo barra-ramo
- As tabelas resultantes devem ser adequadamente estruturadas para uso de programas subsequentes

32

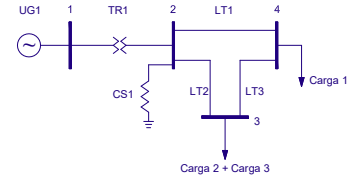
3. Configurador de Redes Tradicional: Etapas do Processo

- Para exemplificar todo o processo do configurador de redes utiliza-se o SEP constituído por três subestações, apresentado a seguir:



3. Configurador de Redes Tradicional: Etapas do Processo

- Modelo Barra-ramo



34

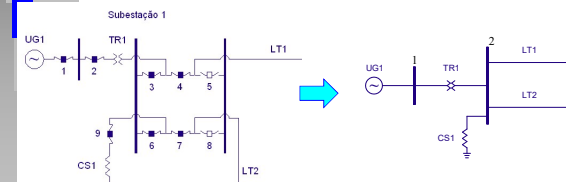
3. Configurador de Redes Tradicional: Etapas do Processo

Etapa 1: Configuração de Subestação

35

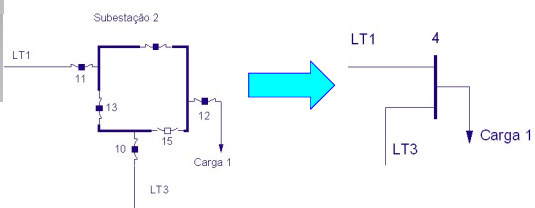
3. Configurador de Redes Tradicional: Etapas do Processo

Etapa 1: Configuração de Subestação



3. Configurador de Redes Tradicional: Etapas do Processo

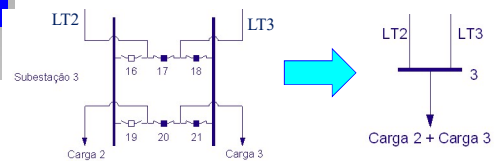
Etapa 1: Configuração de Subestação



37

3. Configurador de Redes Tradicional: Etapas do Processo

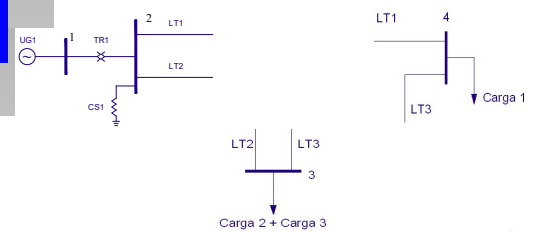
Etapa 1: Configuração de Subestação



38

3. Configurador de Redes Tradicional: Etapas do Processo

Etapa 2: Configuração de Rede

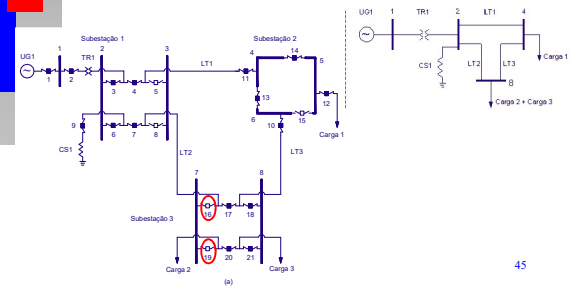


40

3. Configurador de Redes Tradicional: Etapas do Processo

Atualização da Topologia

- “Fechamento dos dispositivos seccionadores 16 e 19”

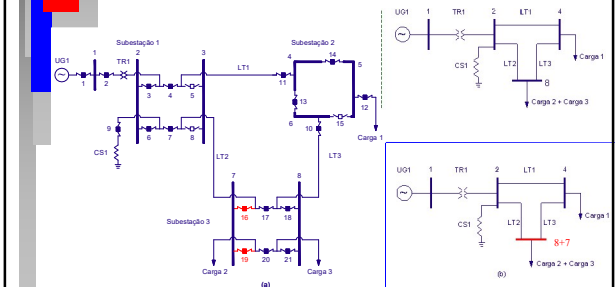


45

3. Configurador de Redes Tradicional: Etapas do Processo

Atualização da Topologia

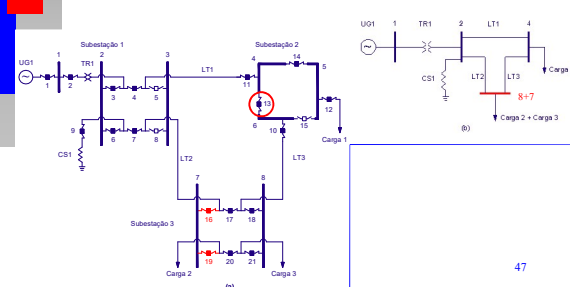
- “Fechamento dos dispositivos seccionadores 16 e 19”



3. Configurador de Redes Tradicional: Etapas do Processo

Atualização da Topologia

- “Abertura do dispositivo seccionador 13”

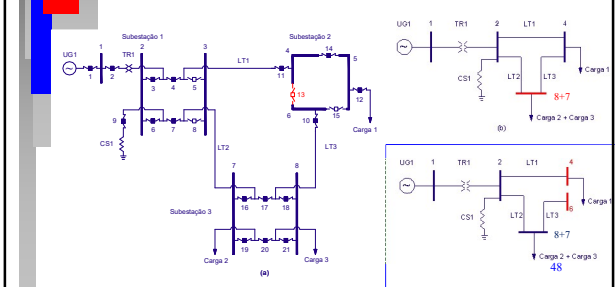


47

3. Configurador de Redes Tradicional: Etapas do Processo

Atualização da Topologia

- “Abertura do dispositivo seccionador 13”



48

3. Configurador de Redes Tradicional: Etapas do Processo

■ Associação de Medidores

➤ Em um configurador tradicional, o mecanismo utilizado para realizar essa última tarefa pode ser interpretado como um processo de redução de rede, isto é, realiza-se uma transformação (eliminação de gauss) da matriz Jacobiana (do estimador por mínimos quadrados), que representa o modelo do SEP em termos de seção de barramento, em uma matriz Jacobiana representando o modelo barra ramo do SEP

49

3. Configurador de Redes Tradicional: Etapas do Processo

■ Associação de Medidores

• Redução da rede

A redução de rede realiza-se tomando por base algumas regras que, dependendo do arranjo do medidor, pode tornar-se uma tarefa difícil de ser realizada

50

3. Configurador de Redes Tradicional: Etapas do Processo

■ Associação de Medidores

• Redução da rede

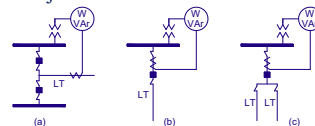
- LT Linha de transmissão
- Disjuntor fechado
- Disjuntor aberto
- Chave fechada
- Chave aberta
- ⌋ Transformador de potência
- ⌋ Transformador de corrente
- Medida de Injeção de Potência
- Medida de Fluxo de Potência

51

3. Configurador de Redes Tradicional: Etapas do Processo

■ Redução de Redes

• Arranjo de Medidores



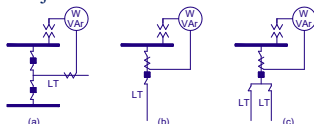
• Figura (a), todas as seções de barramento são unidas em uma simples barra da rede no modelo barra-ramo, e os medidores de potência ativa e reativa são atribuídos à LT; isto é, para o modelo barra-ramo aqueles medidores são representados por medidas de fluxo no ramo que vai representar a LT

52

3. Configurador de Redes Tradicional: Etapas do Processo

■ Redução de Redes

• Arranjo de Medidores



• Figura (a), todas as seções de barramento são unidas em uma simples barra da rede no modelo barra-ramo, e os medidores de potência ativa e reativa são atribuídos à LT; isto é, para o modelo barra-ramo aqueles medidores são representados por medidas de fluxo no ramo que vai representar a LT

Modelo Barra - ramo

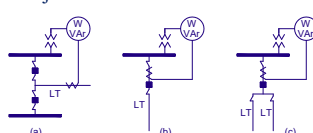


53

3. Configurador de Redes Tradicional: Etapas do Processo

■ Redução de Redes

• Arranjo de Medidores



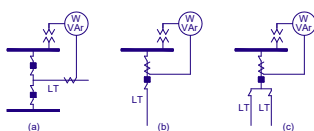
• Figura (b), requer menos modificação para o processo de redução de rede; neste caso o configurador vai atribuir os medidores de potência à linha de transmissão adjacente

54

3. Configurador de Redes Tradicional: Etapas do Processo

■ Redução de Redes

• Arranjo de Medidores



• Figura (b), requer-se menor modificação para o processo de redução de rede; neste caso o configurador vai atribuir os medidores de potência à linha de transmissão adjacente

Modelo Barra - ramo

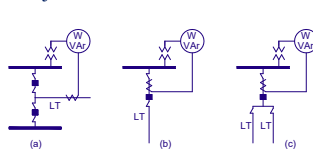


55

3. Configurador de Redes Tradicional: Etapas do Processo

■ Redução de Redes

• Arranjo de Medidores

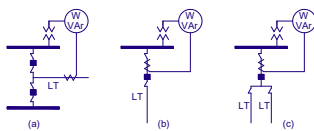


• Normalmente o medidor com o arranjo apresentado na Figura (c) é descartado pelo configurador, pois cada medida deve ser associada a um único componente

56

3. Configurador de Redes Tradicional: Etapas do Processo

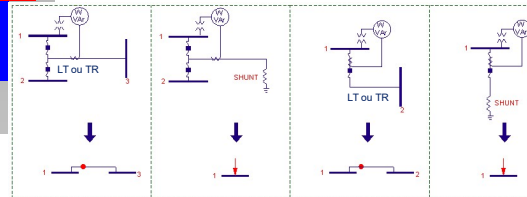
- Redução de Redes
- Arranjo de Medidores



•Figura (c), o processo de redução da rede elimina todos os dispositivos seccionadores (um disjuntor e três chaves seccionadoras); neste caso, os medidores de potência medem a soma dos fluxos de potência ativa e reativa nas duas linhas de transmissão. Assim, cada um desses medidores seria representado, no modelo barra-ramo, como um grupo de medidores de fluxo

3. Configurador de Redes Tradicional: Etapas do Processo

- Associação de Medidores

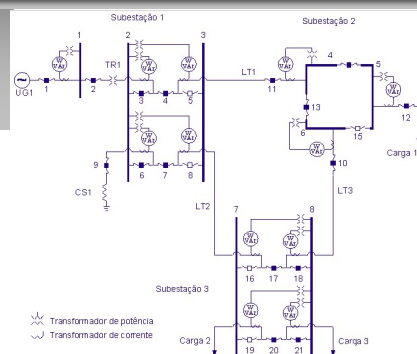


58

4.Exemplo: Locação de Medidores

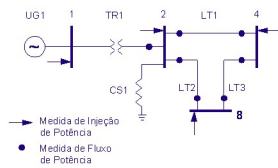
59

4.Exemplo: Locação de Medidores



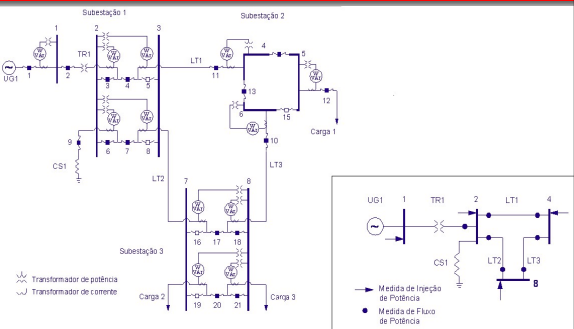
60

4.Exemplo: Locação de Medidores



61

4.Exemplo: Locação de Medidores



62

5.Configurador de Rede – Modelo Generalizado

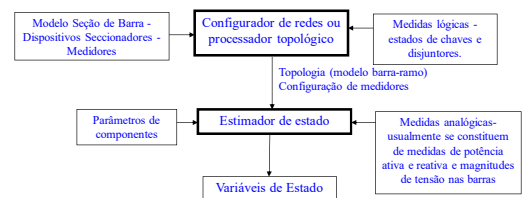
- Configurador de redes para o Estimador de Estado Generalizado
- Em razão de o estimador de estado generalizado trabalhar com o modelo generalizado, e não com o modelo barra-ramo, desenvolveu-se o chamado configurador generalizado

63

5. Configurador de Rede – Modelo Generalizado

Estimação de Estado Convencional (modelo duas fases)

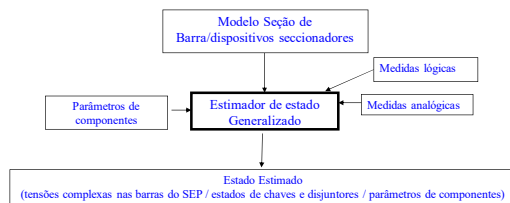
- ✓ O tratamento da topologia da rede e o processamento de medidas analógicas são realizadas de forma independente
- ✓ Neste caso, um erro topológico (ou de parâmetro) torna-se difícil de detectar



5. Configurador de Rede – Modelo Generalizado

Estimação de Estado Generalizado (um único conjunto)

- ✓ Tratamento simultâneo de dados de topologia da rede, medidas analógicas e parâmetros
- ✓ Tentativa de possibilitar o processamento de erros grosseiros, topológicos e de parâmetros



5. Configurador de Rede – Modelo Generalizado

- No estimador de estado generalizado, o vetor de estado convencional ganha novas variáveis de estado, que são os fluxos de potência ativa e reativa, através dos disjuntores e dos ramos cujos parâmetros serão estimados
- Novas pseudo-medidas são também introduzidas no modelo, permitindo assim uma melhor discriminação entre erros grosseiros, topológicos e de parâmetros

66

5. Configurador de Rede – Modelo Generalizado

- As principais diferenças entre os modelos barra-ramo (nó-linha) e generalizado são:

➤ Modelo barra-ramo:

Ramo (ou linha): Linhas de transmissão e transformadores

Barra (ou nó): Subestações

➤ Modelo Generalizado:

Ramo (ou linha): Dispositivos seccionadores (chaves e disjuntores), linhas de transmissão e transformadores

Barra (ou nó): Seções de barramento

67

5. Configurador de Rede – Modelo Generalizado

- Devido à grande quantidade de informações envolvidas no processo de estimação de estado generalizada, tal estimador pode tornar-se inviável para aplicação em tempo real
- Em razão disto, os pesquisadores que o desenvolveram indicam a sua utilização apenas em situações especiais, isto é, quando existe a suspeita da existência de erros topológicos ou de parâmetros
- Face ao exposto, o estimador de estado generalizado não substitui o configurador de redes tradicional, pois, o objetivo daquele estimador não é configurar todo o sistema, mas sim corrigir possíveis erros topológicos (e de parâmetros)

68

6. Referências

1. Notas do Curso de Estimação de Estados ministrado pelo Professor Simões Costa. CBA – 2002
2. MONTICELLI, A. (1999). “-State estimation in electric power systems”. Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, USA
3. BERTRAN, M. & CORBELLA, X. (1982), “On the validations and analysis of a new method for power network connectivity determination”. IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol-PAS: 101, N° 2, p.316-324, fevereiro
4. BOSE, A. & CLEMENTES, A. (1987), “Real-Time Modeling of Power Networks”. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.75, N°12, pp. 1607-1622, dezembro
5. GODERYA, F., METWALLY, A.A. & MANSOUR, O. (1980), “Fast detection and identification of islands in power networks”. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-99, N°1, pp. 217-221, Janeiro/Fevereiro

6. Referências

6. PRAIS, M. & BOSE, A. (1988) “A Topology Processor That Tracks Network Modifications Over Time”. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.-3 ,N°3, pp.992-998, Agosto
7. YEHSAKUL, D. P. & DABBAGHCHI, I. (1995), “A Topology-Based Algorithm For Tracking Network Connectivity”. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.-10, N°1, p. 339-346, fevereiro
8. PIERETI, S.A.R.; DELBEM, A.C.B.; LONDON JUNIOR, J. B. A.; BRETAS, N. G. (2007) “Tracking Network Topology Processor Using Node-depth Representation”. Proceedings of the IEEE PowerTech Conference (paper 404 – 6 paginas), Lausanne - Switzerland, 2007
9. PIERETI, S. A. R. ; LONDON, J.B. A. ; A.C.B. Delbem ; BRETAS, N. G. . Configurador de Redes Baseado na Representação Nô Profundidade Para Efeito de Estimação de Estado. In: XVII Congresso Brasileiro de Automática, Juiz de Fora. (CD, artigo número:39526), 2008.
10. ALSAQ, O.; VEMPATI, N.; STOTT, B.; MONTICELLI, A. Generalized State Estimation. IEEE Transaction on Power Systems, Vol.13, No. 3, p.1069-1075, 1998.

Configurador de Redes para efeito de Estimação de Estado

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