

SEL - 5717 ESTIMAÇÃO DE ESTADO EM SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA

PROF. JOÃO BOSCO A. LONDON JUNIOR
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA - EESC - USP

Escola de Engenharia de São Carlos
Universidade de São Paulo

FLUXO DE CARGA DE VARREDURA DIRETA / INVERSA

JOÃO BOSCO AUGUSTO LONDON JUNIOR
E-MAIL: jball@sc.usp.br
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Escola de Engenharia de São Carlos
Universidade de São Paulo

Aspectos Básicos

- Os métodos mais aplicados em sistemas de distribuição são denominados Métodos de **Varredura Direta Inversa** (do inglês "Backward Forward"), dentre os quais podemos citar os métodos da **soma de potência, soma de correntes e soma de impedâncias**
- Esses métodos exploram a característica radial dos sistemas de distribuição e possuem a vantagem de não exigirem a formação e fatoração de matrizes, minimizando assim o esforço computacional
 - Em todos esses métodos o algoritmo de solução segue duas direções de cálculo ao longo das barras do alimentador: **das barras terminais para as subestações e das subestações para as barras terminais**

Aspectos Básicos

O diagrama ilustra um sistema de distribuição radial com uma barra raiz (subestação) no topo. Abaixo dela, há uma barra intermediária, e no fundo, duas barras terminais rotuladas como I_1 e I_2 . Uma barra intermediária entre a raiz e as terminais é rotulada como L . Duas setas vermelhas indicam as direções de cálculo: uma seta apontando para cima, rotulada "Varredura Inversa", e outra apontando para baixo, rotulada "Varredura Direta".

FLUXO DE CARGA DE VARREDURA DIRETA / INVERSA

MÉTODO DE SOMA DE POTÊNCIAS

Escola de Engenharia de São Carlos
Universidade de São Paulo

Fluxo de Carga de Varredura Direta Inversa Método de Soma de Potências

➤ Procedimento geral após a leitura dos dados do sistema (demandas, topologia e parâmetros da rede)

Etapa 1: assumir que as tensões em todas as barras do sistema são iguais a tensão na barra da subestação

Etapa 2: através de um processo de **Varredura Inversa** (dos nós terminais para o nó raiz (SE)) calcular os fluxos de potência nos ramos

Etapa 3: através de um processo de **Varredura Direta** (do nó raiz para os nós terminais) atualizar os valores das tensões nodais

Fluxo de Carga de Varredura Direta Inversa Método de Soma de Potências

➤ Procedimento geral após a leitura dos dados do sistema (demandas, topologia e parâmetros da rede)

Etapa 1: assumir que as tensões em todas as barras do sistema são iguais a tensão na barra da subestação

Etapa 2: através de um processo de **Varredura Inversa** (dos nós terminais para o nó raiz (SE)) calcular os fluxos de potência nos ramos

Etapa 3: através de um processo de **Varredura Direta** (do nó raiz para os nós terminais) atualizar os valores das tensões nodais

Iterativo até o atendimento de um critério de convergência

Fluxo de Carga de Varredura Direta Inversa Método de Soma de Potências

➤ Equações

Fluxo de Carga de Varredura Direta Inversa Método de Soma de Potências

➤ Equações

Fluxo de Carga de Varredura Direta Inversa Método de Soma de Potências

➤ Equações

➤ Varredura Inversa ←

$$P_{n-1} = P_n + r_n \frac{(P_n + P_{Ln})^2 + (Q_n + Q_{Ln})^2}{V_n^2} + P_{Ln} \quad (9)$$

$$Q_{n-1} = Q_n + x_n \frac{(P_n + P_{Ln})^2 + (Q_n + Q_{Ln})^2}{V_n^2} + Q_{Ln} \quad (10)$$

Fluxo de Carga de Varredura Direta Inversa Método de Soma de Potências

➤ Equações

Onde:

- P_{n-1} é o fluxo de potência ativa entre os nós $n-1$ e n ;
- Q_{n-1} é o fluxo de potência reativa entre os nós $n-1$ e n ;
- P_n é o fluxo de potência ativa entre os nós n e $n+1$;
- Q_n é o fluxo de potência reativa entre os nós n e $n+1$;
- P_{Ln} é a injeção líquida de potência ativa na barra n ;
- Q_{Ln} é a injeção líquida de potência reativa na barra n ;

Fluxo de Carga de Varredura Direta Inversa Método de Soma de Potências

➤ Equações

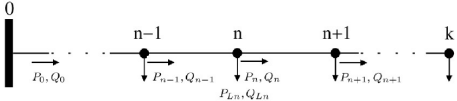
➤ Varredura Direta →

$$V_{n+1}^2 = V_n^2 - 2(r_n P_n + x_n Q_n) + (r_n^2 + x_n^2) \frac{P_n^2 + Q_n^2}{V_n^2} \quad (11)$$

$$\delta_{n+1} = \delta_n - \tan^{-1} \left(\frac{(P_n x_n - Q_n r_n) / V_n}{V_n - (P_n x_n - Q_n r_n) / V_n} \right) \quad (12)$$

Fluxo de Carga de Varredura Direta Inversa Método de Soma de Potências

➤ Equações

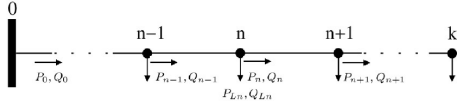


Onde:

- V_n é a tensão na barra n ;
- δ_n é o ângulo de fase da tensão na barra n ;
- r_n é a resistência série da linha que conecta a barra n ;
- x_n é a reatância série da linha que conecta a barra n ;

Fluxo de Carga de Varredura Direta Inversa Método de Soma de Potências

➤ Equações



➤ Critério de convergência:

- ✓ Normalmente define-se como critério de convergência (parada) a análise do valor atual das tensões (magnitude e ângulo) e o seu valor na iteração anterior, cuja diferença, para todas as barras, deve ser menor do que uma tolerância estipulada para que o processo se encerre.
- ✓ Ao final do processo tem-se os valores das tensões complexas nas barras e dos fluxos de potência nos ramos da rede

FLUXO DE CARGA DE VARREDURA DIRETA / INVERSA

MÉTODO DE SOMA DE CORRENTES

Escola de Engenharia de São Carlos
Universidade de São Paulo

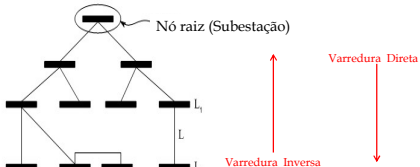
Fluxo de Carga de Varredura Direta Inversa Método de Soma de Correntes

➤ Procedimento geral após a leitura dos dados do sistema (demandas, topologia e parâmetros da rede)

Etapa 1: assumir que as tensões em todas as barras do sistema são iguais a tensão na barra da subestação e calcular as correntes nas barras (através das demandas e das tensões nas barras)

Etapa 2: através de um processo de **Varredura Inversa** (dos nós terminais para o nó raiz (SE)) calcular as correntes nos ramos

Etapa 3: através de um processo de **Varredura Direta** (do nó raiz para os nós terminais) atualizar os valores das tensões nodais



Fluxo de Carga de Varredura Direta Inversa Método de Soma de Correntes

➤ Procedimento geral após a leitura dos dados do sistema (demandas, topologia e parâmetros da rede)

Etapa 1: assumir que as tensões em todas as barras do sistema são iguais a tensão na barra da subestação e calcular as correntes nas barras (através das demandas e das tensões nas barras)

Etapa 2: através de um processo de **Varredura Inversa** (dos nós terminais para o nó raiz (SE)) calcular as correntes nos ramos

Etapa 3: através de um processo de **Varredura Direta** (do nó raiz para os nós terminais) atualizar os valores das tensões nodais

Iterativo até o atendimento de um critério de convergência

Fluxo de Carga de Varredura Direta Inversa Método de Soma de Correntes

➤ Equações

Fluxo de Carga de Varredura Direta Inversa Método de Soma de Correntes

➤ Equações

➤ Cálculo das correntes nas barras

$$i_k = \left(\frac{\bar{S}_k}{\bar{V}_k} \right)^* \quad (13)$$

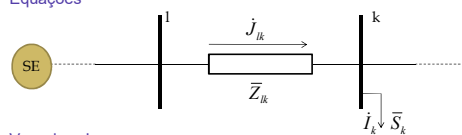
✓ Sendo $\bar{S}_k = P_k + jQ_k$ a demanda na barra k (potência líquida)

Fluxo de Carga de Varredura Direta Inversa Método de Soma de Correntes

➤ Equações

Fluxo de Carga de Varredura Direta Inversa Método de Soma de Correntes

➤ Equações



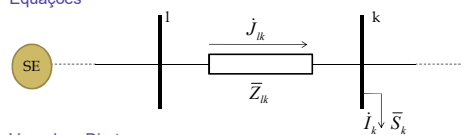
➤ Varredura Inversa

$$\dot{J}_{lk} = \dot{I}_k + \sum_{m \in M} \dot{J}_{km} \quad (14)$$

- ✓ Sendo M o conjunto de linhas conectadas à barra k (no sentido SE nó terminais)

Fluxo de Carga de Varredura Direta Inversa Método de Soma de Correntes

➤ Equações



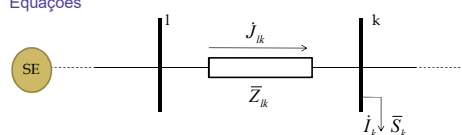
➤ Varredura Direta

$$\dot{V}_k = \dot{V}_l - \bar{Z}_{lk} \dot{J}_{lk} \quad (15)$$

- ✓ Sendo \bar{Z}_{lk} a impedância da linha $l - k$

Fluxo de Carga de Varredura Direta Inversa Método de Soma de Correntes

➤ Equações



➤ Critério de convergência:

- ✓ Normalmente define-se como critério de convergência (parada) a análise do valor atual das tensões (magnitude e ângulo) e o seu valor na iteração anterior, cuja diferença, para todas as barras, deve ser menor do que uma tolerância estipulada para que o processo se encerre.
- ✓ Ao final do processo tem-se os valores das tensões complexas nas barras e dos fluxos de potência nos ramos da rede

SEL - 5717 ESTIMAÇÃO DE ESTADO EM SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA

PROF. JOÃO BOSCO A. LONDON JUNIOR
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA - EESC - USP
E-MAILS: jbaldj@sc.usp.br, jlobretas@sc.usp.br

Escola de Engenharia de São Carlos
Universidade de São Paulo