

LABORATÓRIO DE SISTEMAS DE POTÊNCIA
EXPERIÊNCIA: FLUXO DE POTÊNCIA - 2016
RELATÓRIO

Alunos:

Professor:.....**Data:**.....

1. OBJETIVOS DA EXPERIÊNCIA

- familiarização com o uso de programas de fluxo de potência;
- análise de resultados.

2. CARACTERÍSTICAS DOS PROGRAMAS DE FLUXO DE POTÊNCIA

2.1 - Aplicações

Objetivo: analisar o desempenho da rede em regime permanente. Para isto é necessário conhecer o estado elétrico do sistema.

O estado elétrico do sistema é definido quando se conhecem quatro grandezas escalares, para todos os nós elétricos: módulo da tensão (v), ângulo da tensão (δ) e módulo e ângulo das correntes injetadas em cada nó.

As correntes injetadas podem ser substituídas pelas potências ativa e reativa injetadas, sendo então as 4 grandezas que definem o estado da rede: v , δ , P , Q . Essas quatro grandezas reais podem ser representadas por duas grandezas complexas.

2.2 - Tipos de programas de fluxo de potência e suas aplicações

- Fluxo de potência CA - clássico;
- Fluxo de potência CC - não iterativo;
- Fluxo de potência probabilístico;
- Fluxo de potência ótimo;
- Fluxo de potência trifásico para redes e/ou cargas desequilibradas.

2.3 - Métodos de equacionamento e solução

a) Equacionamento

- Equações de barras (Y_{nodal} e Z_{nodal});
- Equações de malhas (Z_{malha} e Y_{malha}).

As equações podem ser escritas com variáveis complexas representadas na forma polar ou cartesiana, ou com variáveis escalares.

Solução mais frequente: solução por Y_{nodal}

$$[I] = [Y_{nodal}] \cdot [V]$$

b) Solução

Os principais métodos são:

- Método de Gauss e Gauss Saidel;
- Método de Newton-Raphson – clássico e desacoplado;
- Métodos mistos.

Por que a solução é normalmente iterativa? Aspectos que influenciam a convergência (topologia, carregamento, condições iniciais modelo).

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2.5 - Tipos de nós

Tabela 1 - Tipos de nós (barras) – valores conhecidos e incógnitas

| Tipo de nó | P | Q | V | Delta |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| PQ | Conhecido | Conhecido | ? | ? |
| PV | Conhecido | ? | Conhecido | ? |
| V-Delta | ? | ? | Conhecido | Conhecido |
| PQV | | | | |
| P | | | | |

2.6 - Resultados

- Níveis de tensão na rede;
- Carregamento dos equipamentos;
- Carregamento das linhas de transmissão e de distribuição;
- Perdas ativa e reativa.

2.7 - Equipamentos a serem modelados

- Cargas (I, S, Z constante);
- Geradores;
- Linhas de transmissão (curta e longa);
- Transformadores de 2 enrolamentos ;
- Transformadores de 3 ou mais enrolamentos;
- Bancos de capacitores e reatores shunt;
- Compensador estático e síncrono;
- Transformador “Phase Shifter”;
- Capacitor série;
- Bipolo de corrente contínua;
- Cargas especiais.

2.8 - Balanço de reativos em sistemas EAT

Potência econômica, potência característica e potência de limite térmico

a) Potência econômica

- Custo total da linha: investimento (capital, C_{inv}) + operação (perdas, C_{per})
- Seção transversal (mm^2): S

Assumindo:

$$C_{inv} = A + B \cdot S$$

$$C_{per} = \frac{C}{S}$$

Resulta:

$$C_{tot} = C_{inv} + C_{per} = A + B \cdot S + \frac{C}{S}$$

A potência econômica é aquela que conduz a custo total mínimo:

$$C_{\min} \Leftrightarrow d \frac{C_{tot}}{S} = 0$$

$$B - \frac{C}{S^2} = 0 \quad \therefore \quad S_{C_{\min}} = \sqrt{\frac{C}{B}}$$

b) Potencia característica (P_c)

É a potência transmitida que zera o balanço de reativos, ou seja:

$$3X_L I^2 = 3V_f^2 \omega C_f$$

$$Z_c = \frac{V_f}{I} = \sqrt{\frac{X_L}{\omega C_f}}$$

$$P_c = \frac{V_{linha}^2}{Z_c}$$

c) Potencia de limite térmico

Máxima potência ou corrente em função de limitação do condutor (temperatura máxima e/ou flecha máxima)

2.9 - Linhas convencionais, linhas compactas e LPNE

Tabela 2 - Parâmetros para linhas em 500 kV – 4 condutores 954 MCM/fase

| Tipo da linha | r_1 (Ω/km) | x_1 (Ω/km) | c_1 (nF/km) | Z_c (Ω) | P_c (MW) |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------|--------------------|------------|
| Convencional (0,45m) | 0,015 | 0,32 | 13,50 | | |
| Compacta (0,45m) | 0,015 | 0,27 | 16,35 | | |
| LPNE (1,2m) | 0,015 | 0,25 | 17,46 | | |

3. USO DO PROGRAMA

3.1 - Cálculos iniciais

Escolher um dos três tipos de linha (Tabela 2):

Calcular Z_c , P_c e potência reativa gerada por km:

$$Z_c = \dots\dots\dots\Omega$$

$$P_c = \dots\dots\dots\text{MW}$$

$$Q_c = \dots\dots\dots \text{MVar/km.}$$

3.2 – Estudo 1: energização de linha

Nos casos especificados abaixo, considerar os seguintes dados:

- Gerador: 250 MVA, 13,8 kV, ajuste de tensão: nominal;
- Transformador elevador (considerar sempre um trafo por gerador): 262 MVA, 13,8 kV / 500 kV, reatância 11%;
- Trecho de rede: 400 km;

- Tensão máxima admissível (sem restrição de tempo): 550 kV (limite de +10%).

Casos:

- A: 1 trecho, 2 máquinas, sem reatores
- B: 1 trecho, 4 máquinas, sem reatores
- C: 1 trecho, 2 máquinas e 2 reatores com potência reativa conjunta igual a 40%, 60% e 80% da potência reativa gerada pela linha - um reator em cada extremidade. Valor de cada reator: MVar ($\frac{1}{2}$ de 40%), MVar ($\frac{1}{2}$ de 60%) e MVar ($\frac{1}{2}$ de 80%)
- D: Idem Caso C com compensação de 40%, exceto que os 2 reatores são colocados na extremidade final do trecho
- E: 2 trechos em série (400 km cada um), 2 máquinas e reatores de 40%, 60% e 80% na extremidade final de cada trecho. Valor de cada reator: MVar (40%), MVar (60%) e MVar (80%)
- F: Idem Caso A com reator de 125 MVar na extremidade final do trecho

Tabela 3 – Resultados

| Caso | Pot. reativa gerada pelas máquinas (MVar) | v_1 (pu) | v_2 (pu) | v_3 (pu) | v_4 (pu) |
|------|---|------------|------------|------------|------------|
| A | | 1 | | | - |
| B | | 1 | | | - |
| C | 40% | 1 | | | - |
| | 60% | | | | - |
| | 80% | | | | - |
| D | | 1 | | | - |
| E | 40% | 1 | | | |
| | 60% | | | | |
| | 80% | | | | |
| F | | 1 | | | - |

3.3 – Estudo 2: casos com carga

A partir do Caso D colocar, na barra final do sistema, carga puramente ativa de potência constante, com valor igual a:

Caso G1: (30% de P_c) =MW ;

Caso G2: (50% de P_c) =MW ;

Caso G3: (80% de P_c) =MW .

Analisar os resultados quanto a:

- Condições dos geradores e barras de tensão controlada (quando for o caso);
- Níveis de tensão nas demais barras;

- Fluxos nas ligações;
- Perdas ativas e reativas.

Tabela 4 - Resultados do Caso G1

| Barra | P (MW) | Q (MVA _r) | V (pu) | Ângulo (°) |
|-------|--------|-----------------------|--------|------------|
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |

Fluxos e perdas:

Tabela 5 - Resultados do Caso G2

| Barra | P (MW) | Q (MVA _r) | V (pu) | Ângulo (°) |
|-------|--------|-----------------------|--------|------------|
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |

Fluxos e perdas:

4. Conclusões

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....