

LABORATÓRIO DE SISTEMAS DE POTÊNCIA

EXPERIÊNCIA: FLUXO DE POTÊNCIA - 2014

RELATÓRIO

NOTA
.....

Alunos: 1)

2)

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 4 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 . Estas 4 grandezas reais podem ser representadas por 2 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}

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

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).

.....

.....

.....

.....

.....

2.4 - Aplicações: estudos em regime permanente

- a) Pós-energização (sistema em vazio);
- b) carga máxima (pesada), intermediária, leve e mínima;
- c) condição normal e em contingência.

.....

.....

.....

.....

.....

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 (MVar)	V (pu)	Ângulo (°)
1				
2				
3				

Fluxos e perdas:

Tabela 5 - Resultados do Caso G2

Barra	P (MW)	Q (MVar)	V (pu)	Ângulo (°)
1				
2				
3				

Fluxos e perdas:

Comentários

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3.4 – Estudo 3: análise de sensibilidade

A partir do Caso G2, impor as variações abaixo especificadas e descrever, para cada caso:

- condição dos geradores;
- níveis de tensão e ângulos nas demais barras;
- fluxos nas ligações;
- perdas ativas e reativas.

Caso H1: aumento de 5% na tensão do gerador;

Caso H2: redução de 5% na tensão do gerador;

Caso H3: aumento de 10% na carga;

Caso H4: redução de 10% na carga;

Comentários

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3.5 – Estudo 4: fluxo de potência reativa e reativa em um trecho, em função dos módulos das tensões e da diferença angular

Considere um trecho de rede em 230 kV, de comprimento igual a 200 km e reatância série por fase igual a $0,529 \Omega/\text{km}$. Fixe a tensão na barra B1 (extremidade inicial do trecho) em 1 |0 pu e varie a tensão na barra B2 (extremidade final), de acordo com os valores nas Tabelas 7 e 8.

Tabela 7 – Fluxo de potência ativa

Fluxo de potência ativa B1 → B2 (MW)			
Âng. $V_2 \rightarrow$ Mód. $V_2 \downarrow$	-10°	0	+10°
0,95 pu			
1 pu			
1,05 pu			

Tabela 8 – Fluxo de potência reativa

Fluxo de potência reativa B1 → B2 (MVar)			
Âng. $V_2 \rightarrow$ Mód. $V_2 \downarrow$	-10°	0	+10°
0,95 pu			
1 pu			
1,05 pu			

Comentários

.....

.....

.....

.....

.....

4. Conclusões

.....

.....

.....

.....

.....