



Universidade Federal de São João del-Rei – UFSJ
Departamento de Engenharia Elétrica – DEPEL
Coordenadoria do Curso de Engenharia Elétrica – COELE

RELATÓRIO DA LISTA DE EXERCÍCIOS 01 ANÁLISE DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA

Aluno: Lucas Xavier de Moraes - 190950011

Professor: Fernando Aparecido de Assis

São João del Rei
2024

1 EXERCÍCIO 1

1. Para o sistema abaixo, utilize o mecanismo de Ajustes Alternados e faça o controle da tensão V3, utilizando as tensões nas Barras 1 (V1) e 2 (V2) como variáveis de controle, ou seja, busque um “balanço” entre as injeções de reativo nas Barras 1 e 2 a fim de controlar a tensão na Barra 3. A tensão V3 deve ser igual a 1,00 pu, com tolerância de 10-3. Considere o despacho do gerador na Barra 2 igual a 80 MW. Apresente um relatório das iterações realizadas para ajuste das variáveis de controle. Para esse sistema, responda:

- Quais os valores de geração de potência reativa dos geradores nas Barras 1 e 2 antes da realização do controle?
- Quais os novos valores de geração de potência reativa dos geradores nas Barras 1 e 2 após a realização do controle?

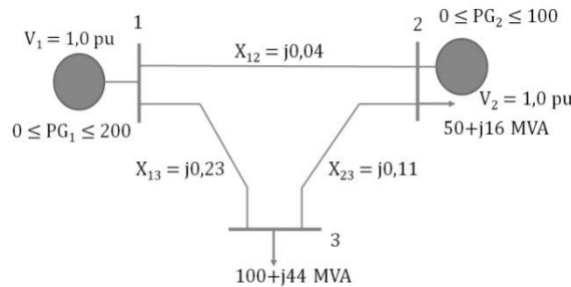


Figura 1: Sistema do exercício 1

1.1 RESOLUÇÃO

Para solucionar o problema, foi criada uma rotina me python que realiza ajustes alternados nas tensões da barra 3, controlando as tensões das barras 1 e 2.

O relatório abaixo indica os resultados:

Relatório das potências nas barras em PU									
BARRA #	TENSAO (PU)	THETA (DEG)	PI	QI	PG	QG (PU)	SG	PD	QD
1	1.00000	0.00000	0.7000	0.1789	0.7000	0.1789	0.7225	0.0000	0.0000
2	1.00000	-0.77528	0.3000	0.3620	0.8000	0.5220	0.9553	0.5000	0.1600
3	0.96299	-4.95629	-1.0000	-0.4400	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.4400
Total					1.5000	0.7009	1.6777	1.5000	1.5000
Total de Perdas			Perdas Ativas = 0.0000 pu			Perdas Reativas = 0.1009 pu			

Figura 2: Sistema iniciais do problema 1

A partir das imagens acima, percebe-se que a tensão atingiu o valor especificado, porém houve uma leve alteração nos despachos de potências reativas dos geradores em 1 e 2.

Relatório das potências nas barras em PU									
BARRA #	TENSAO (PU)	THETA (DEG)	PI [QI	PG	QG (PU)	SG	PD	QD
1	1.03450	0.00000	0.7000	0.1763	0.7000	0.1763	0.7219	0.0000	0.0000
2	1.03450	-0.72419	0.3000	0.3575	0.8000	0.5175	0.9528	0.5000	0.1600
3	0.99902	-4.61886	-1.0000	-0.4400	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.4400
Total					1.5000	0.6938	1.6746	1.5000	1.5000
Total de Perdas			Perdas Ativas = 0.0000 pu			Perdas Reativas = 0.0938 pu			

Figura 3: Sistema após os ajustes do problema 1

Antes dos ajustes, o Gerador da barra 1 produzia 17,89 Mvar, e o Gerador 2 52,20 Mvar. Após os ajustes, as potências geradas foram de 17,63 Mvar e 51,75 Mvar respectivamente para os geradores 1 e 2.

Abaixo encontra-se um relatório das correções que foram aplicadas a cada iteração do ajuste.

```

Correcao por barra: 0.012953
1 / 100 || 1.00%
Correcao por barra: 0.008212
2 / 100 || 2.00%
Correcao por barra: 0.005210
3 / 100 || 3.00%
Correcao por barra: 0.003307
4 / 100 || 4.00%
Correcao por barra: 0.002100
5 / 100 || 5.00%
Correcao por barra: 0.001333
6 / 100 || 6.00%
Correcao por barra: 0.000847
7 / 100 || 7.00%
Correcao por barra: 0.000538
8 / 100 || 8.00%
Convergiu em 8 iteracoes

```

Figura 4: Ajustes alternados da correção

2 EXERCÍCIO 2

2. Para o sistema do exercício anterior (Ex. 1), considere manter os ajustes de tensão nas Barras 1 e 2 encontrados. Considere, ainda, que as cargas nas Barras 2 e 3 foram acrescidas em 20 por cento tanto a parcela ativa quanto a reativa. Para este novo cenário, responda:

a) Quais os valores das potências reativas geradas nas Barras 1 e 2 neste novo cenário? Imagine que os geradores das Barras 1 e 2 possuem limites de capacidade para geração de potência reativa de -50 MVar a 50 MVar. Para o novo cenário de carga, há violação do limite de reativo gerado nessas barras? Se sim, que ajuste pode ser realizado a fim de manter essas gerações dentro dos limites?

2.1 RESOLUÇÃO

Relatório das potências nas barras em PU									
BARRA #	TENSAO (PU)	THETA (DEG)	PI	QI	PG	QG (PU)	SG	PD	QD
1	1.03450	0.00000	1.0000	0.2247	1.0000	0.2247	1.0249	0.0000	0.0000
2	1.03450	-1.17799	0.2000	0.4462	0.8000	0.6382	1.0234	0.6000	0.1920
3	0.99087	-5.79458	-1.2000	-0.5280	0.0000	0.0000	0.0000	1.2000	0.5280
Total					1.8000	0.8629	2.0483	1.8000	1.8000
Total de Perdas			Perdas Ativas = 0.0000 pu			Perdas Reativas = 0.1429 pu			

Figura 5: Sistema Exercício 2

Agora, conforme os resultados acima, as potências reativas nos geradores 1 e 2 foram 22,47 Mvar e 63,82 Mvar.

Neste caso será necessário aplicar um ajuste a fim de diminuir o despacho de potência reativa no gerador 2.

Um ajuste que pode ser feito é um banco e capacitores de 14Mvar ou um compensador síncrono, que o problema seria solucionado. Para a simulação foi escolhido o banco.

Relatório das potências nas barras em PU									
BARRA #	TENSAO (PU)	THETA (DEG)	PI	QI	PG	QG (PU)	SG	PD	QD
1	1.03450	0.00000	1.0000	0.2247	1.0000	0.2247	1.0249	0.0000	0.0000
2	1.03450	-1.17799	0.2000	0.2964	0.8000	0.4884	0.9373	0.6000	0.1920
3	0.99087	-5.79458	-1.2000	-0.5280	0.0000	0.0000	0.0000	1.2000	0.5280
Total					1.8000	0.7131	1.9622	1.8000	1.8000
Total de Perdas			Perdas Ativas = 0.0000 pu			Perdas Reativas = 0.1429 pu			

Figura 6: Resposta do Sistema do Exercício 2

Com essa solução, a tensão se manteve próxima de 1 pu na barra 3, que era o objetivo inicial, e também foram respeitados os limites do gerador.

3 EXERCÍCIO 3

3. Para o sistema a seguir, faça o controle remoto de tensão na Barra 4 considerando a relação de transformação do LTC entre as Barras 1 e 3. A tensão na Barra 4 deve ser de 1,01 pu. Utilize o método de ajustes alternados com tolerância de 10-3. Apresente um relatório das iterações realizadas para ajuste da variável de controle. Qual o valor da magnitude da tensão na barra 3 considerando o controle solicitado?

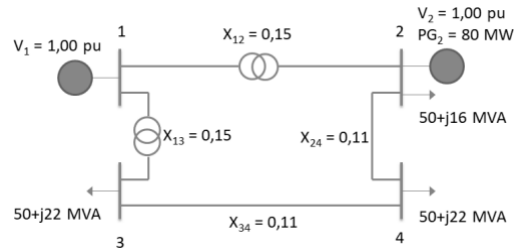


Figura 7: Sistema para o exercício 3 e 4

3.1 RESOLUÇÃO

Utilizando então ajustes alternados através de uma rotina, para o qual foi selecionado após algumas tentativas, um alpha de 1,5, chega-se aos seguintes relatórios:

Relatório das potências nas barras em PU									
BARRA #	TENSAO (PU)	THETA (DEG)	PI	QI	PG	QG (PU)	SG	PD	QD
1	1.00000	0.00000	0.7000	0.2428	0.7000	0.2428	0.7409	0.0000	0.0000
2	1.00000	-1.57350	0.3000	0.2856	0.8000	0.4456	0.9157	0.5000	0.1600
3	0.96707	-4.59895	-0.5000	-0.2200	0.0000	0.0000	0.0000	0.5000	0.2200
4	0.97032	-4.71272	-0.5000	-0.2200	0.0000	0.0000	0.0000	0.5000	0.2200
Total					1.5000	0.6884	1.6566	1.5000	1.5000
Total de Perdas			Perdas Ativas = 0.0000 pu			Perdas Reativas = 0.0884 pu			

Figura 8: Relatório antes do ajuste

Relatório das potências nas barras em PU									
BARRA #	TENSAO (PU)	THETA (DEG)	PI	QI	PG	QG (PU)	SG	PD	QD
1	1.00000	0.00000	0.7000	0.6290	0.7000	0.6290	0.9411	0.0000	0.0000
2	1.00000	-1.35948	0.3000	-0.0692	0.8000	0.0908	0.8051	0.5000	0.1600
3	1.04340	-3.97189	-0.5000	-0.2200	-0.0000	0.0000	0.0000	0.5000	0.2200
4	1.00908	-4.22230	-0.5000	-0.2200	0.0000	0.0000	0.0000	0.5000	0.2200
Total					1.5000	0.7198	1.7462	1.5000	1.5000
Total de Perdas			Perdas Ativas = 0.0000 pu			Perdas Reativas = 0.1198 pu			

Figura 9: Relatório após o ajuste

```
Tap Inicial: 1.000000
Correcao no tap: 0.059526
1 / 100 || 1.00%
Correcao no tap: 0.031686
2 / 100 || 2.00%
Correcao no tap: 0.016904
3 / 100 || 3.00%
Correcao no tap: 0.009027
4 / 100 || 4.00%
Correcao no tap: 0.004824
5 / 100 || 5.00%
Correcao no tap: 0.002578
6 / 100 || 6.00%
Convergiu em 6 iteracoes
Tap Final: 1.124546, para uma diferenca de 0.124546
```

Figura 10: Relatório da variação no tap

Antes do ajuste, a tensão na barra 4 era 0,97032 pu. Após o ajuste, a tensão foi para 1.00908 pu.

Já o tap, sofreu um incremento no seu tap de 0.124546, atingindo um valor final de 1.124546.

4 EXERCÍCIO 4

4. Para o sistema a seguir, faça o controle do fluxo de potência ativa entre as Barras 3 e 4 (P34) considerando o ajuste da fase inserido pelo transformador defasador instalado entre as Barras 1 e 3. Nesse caso, determine a defasagem a ser inserida pelo transformador de modo que o fluxo de potência ativa P34 seja de 30 MW. Utilize o método de ajustes alternados com tolerância de 10-3. Apresente um relatório das iterações realizadas para ajuste da variável de controle. Qual a variação de fluxo de potência ativa observada nos demais circuitos considerando os casos sem e com defasagem inserida pelo transformador?

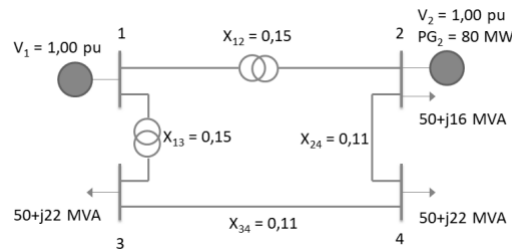


Figura 11: Sistema para o exercício 3 e 4

4.1 RESOLUÇÃO

Utilizando ajustes alternados novamente, agora, através de tentativa e erro, foi utilizado um alpha de 15,5. foram então produzidos os seguintes relatórios:

Relatório das potências nas barras em PU									
BARRA #	TENSAO (PU)	THETA (DEG)	PI	QI	PG	QG (PU)	SG	PD	QD
1	1.00000	0.00000	0.7000	0.2428	0.7000	0.2428	0.7409	0.0000	0.0000
2	1.00000	-1.57350	0.3000	0.2856	0.8000	0.4456	0.9157	0.5000	0.1600
3	0.96707	-4.59895	-0.5000	-0.2200	0.0000	0.0000	0.0000	0.5000	0.2200
4	0.97032	-4.71272	-0.5000	-0.2200	0.0000	0.0000	0.0000	0.5000	0.2200
Total					1.5000	0.6884	1.6566	1.5000	1.5000
Total de Perdas			Perdas Ativas = 0.0000 pu				Perdas Reativas = 0.0884 pu		

Figura 12: Relatório nas barras antes do ajuste

Relatório das potências nas barras em PU									
BARRA #	TENSAO (PU)	THETA (DEG)	PI	QI	PG	QG (PU)	SG	PD	QD
1	1.00000	-0.00000	0.7000	0.2902	0.7000	0.2902	0.7578	0.0000	0.0000
2	1.00000	0.85479	0.3000	0.2838	0.8000	0.4438	0.9148	0.5000	0.1600
3	0.96407	1.57094	-0.5000	-0.2200	-0.0000	0.0000	0.0000	0.5000	0.2200
4	0.96912	-0.44953	-0.5000	-0.2200	0.0000	0.0000	0.0000	0.5000	0.2200
Total					1.5000	0.7339	1.6726	1.5000	1.5000
Total de Perdas			Perdas Ativas = 0.0000 pu				Perdas Reativas = 0.1339 pu		

Figura 13: Relatório nas barras após o ajuste

Relatório das potências nos circuitos km em PU					
BARRA DE	PARA	PKM	QKM (PU)	SKM	Capacidade
1	2	0.1831	0.0025	0.1831	1.0
1	3	0.5169	0.2403	0.5700	1.0
2	4	0.4831	0.2831	0.5599	1.0
3	4	0.0169	-0.0285	0.0331	1.0
Relatório das potências nos circuitos mk em PU					
BARRA DE	PARA	PMK	QMK (PU)	SMK	Capacidade
2	1	-0.1831	0.0025	0.1831	1.0
3	1	-0.5169	-0.1915	0.5513	1.0
4	2	-0.4831	-0.2486	0.5433	1.0
4	3	-0.0169	0.0286	0.0332	1.0

Figura 14: Relatório nos circuitos antes do ajuste

Relatório das potências nos circuitos km em PU					
BARRA DE	PARA	PKM	QKM (PU)	SKM	Capacidade
1	2	-0.0995	0.0007	0.0995	1.0
1	3	0.7995	0.2895	0.8502	1.0
2	4	0.2005	0.2830	0.3469	1.0
3	4	0.2995	-0.0390	0.3020	1.0
Relatório das potências nos circuitos mk em PU					
BARRA DE	PARA	PMK	QMK (PU)	SMK	Capacidade
2	1	0.0995	0.0007	0.0995	1.0
3	1	-0.7995	-0.1810	0.8197	1.0
4	2	-0.2005	-0.2698	0.3362	1.0
4	3	-0.2995	0.0498	0.3036	1.0

Figura 15: Relatório nos circuitos após o ajuste

```
Defasagem Inicial: 0.000000
Correcao na defasagem: 4.387457
1 / 100 || 1.00%
Correcao na defasagem: 2.179186
2 / 100 || 2.00%
Correcao na defasagem: 1.085063
3 / 100 || 3.00%
Correcao na defasagem: 0.541277
4 / 100 || 4.00%
Correcao na defasagem: 0.270294
5 / 100 || 5.00%
Correcao na defasagem: 0.135049
6 / 100 || 6.00%
Correcao na defasagem: 0.067495
7 / 100 || 7.00%
Correcao na defasagem: 0.033737
8 / 100 || 8.00%
Correcao na defasagem: 0.016865
9 / 100 || 9.00%
Convergiu em 9 iteracoes
Defasagem Inicial: 0.000000, Defasagem Final: 8.716343, para uma diferenca de 8.716343
```

Figura 16: Relatório da variação na defasagem

Conforme os relatórios acima, principalmente os relatórios das figuras 14 e 15, é possível comparar os fluxos.

Nota-se uma redução no fluxo aparente entre as barras 1 e 2 para aproximadamente a metade do fluxo anterior.

Já no circuito entre as barra 1 e 3, houve um incremento no fluxo.

Na linha entre 2 e 4 houve um decréscimo no fluxo aparente.

Por fim, nentre 3 e 4, o fluxo ativo foi ajustado conforme o requisito, mas percebeu-se um aumento de aproximadamente 10 vezes no fluxo de potência aparente.