

Relatório 06: Distribuição de Potências Ativa e Reativa entre dois Geradores Síncronos Operando em Paralelo, alimentando uma Carga de Certa Impedância

Batista, H.O.B.¹, Alves, W. F. O.²
 Matrículas: 96704¹, 96708²
 Departamento de Engenharia Elétrica,
 Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.
 e-mails: hiago.batista@ufv.br¹, werikson.alves@ufv.br²

I. INTRODUÇÃO

A potência elétrica ativa gerada por um gerador síncrono depende da fonte de força motriz da máquina primária que aciona o eixo do gerador, enquanto que a potência reativa gerada depende da excitação do seu enrolamento de campo. A ligação de dois geradores síncronos em paralelo com um barramento no qual existe uma carga ligada é mostrado na figura 1, na qual as potências ativa e reativa geradas pelos geradores deve ser igual a potência ativa e reativa consumidas pela carga. [2]

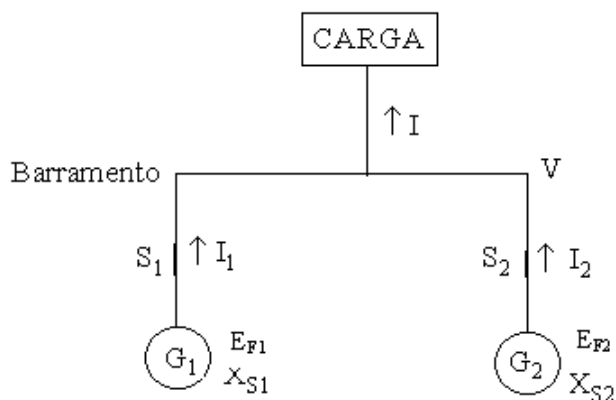


Figura 1. Esquema básico de um sistema de geração. [2]

Ao se fazer o paralelo de dois geradores, o segundo gerador fica basicamente flutuando no barramento (fornecendo pouca potência ativa para a carga e praticamente nenhuma potência reativa). Sendo assim, para que a demanda de energia da carga seja igualmente dividida entre os geradores é necessário a realização de ajustes subsequentes nos dois geradores, no tocante as velocidades das máquina primária e nas excitações dos seus enrolamentos de campo.

Para uma carga puramente resistiva, inicialmente são feitos ajustes nas velocidades das máquinas primárias de modo que cada gerador entrega a metade da potência ativa

consumida pela carga, na frequência nominal e na carga nominal e as excitações dos seus enrolamentos de campo são ajustadas para que cada gerador opere com fator de potência unitário, conforme diagrama fasorial da figura 2.

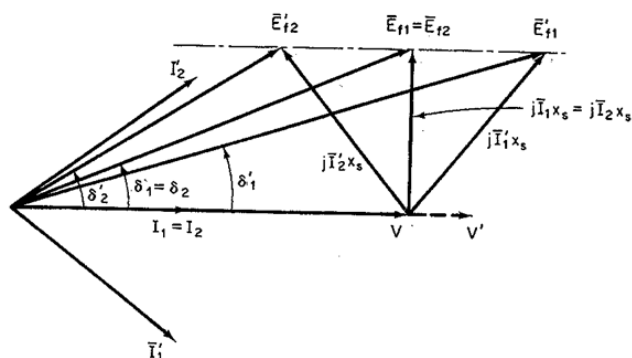


Figura 2. Diagrama fasorial de dois geradores operando em paralelo, mostrando o efeito da variação de excitação do enrolamento de campo, com a potência ativa permanecendo constante. [2]

Pelo diagrama fasorial, se a excitação do enrolamento de campo do gerador 1 for aumentada, a sua tensão de excitação aumenta, mas a potência ativa permanece constante. Quando um gerador tem a sua excitação aumentada o mesmo opera sobreexcitado, absorvendo neste caso corrente reativa atrasada, porque a sobreexcitação provoca um efeito desmagnetizante no gerador. Como a carga é resistiva esta corrente não pode ir para a carga ficando, desta forma, circulando entre as duas máquinas, o que faz com que a corrente no gerador 2 seja adiantada. A corrente adiantada em um gerador produz um efeito magnetizante no fluxo do entreferro.

Pelo diagrama fasorial o aumento da excitação do gerador 1 aumenta a tensão terminal, portanto para manter esta tensão constante é necessário diminuir a excitação no enrolamento de campo do gerador 2. Observa-se que a potência ativa permanece constante, porque não feita

nenhuma alteração na velocidade das máquinas primárias. Neste momento, os geradores estão entregando a frequência nominal para a carga, com cada um entregando a metade da potência nominal da carga, conforme a figura 3.

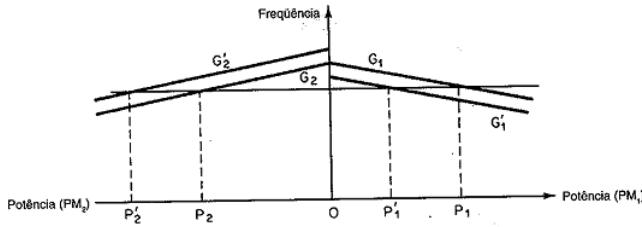


Figura 3. Características das fontes de força motrizes dos geradores 1 e 2. [2]

Agora admitindo a mesma situação anterior, em que cada gerador tem a sua excitação de campo ajustada de forma que o fator de potência seja unitário e que a potência da carga seja igualmente distribuída entre eles, caso a velocidade da máquina primária do gerador 1 for diminuída, para manter a frequência constante, a do gerador 2 deve ser aumentada. Com isso sua potência ativa aumenta. Esses ajustes das máquinas primárias dos dois geradores são apresentados na figura 4.

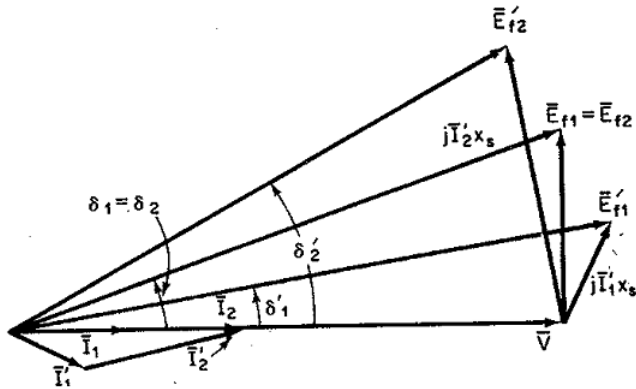


Figura 4. Diagrama fasorial mostrando os ajustes das máquinas primárias dos dois geradores. [2]

A partir do diagrama acima, se velocidade da máquina primária que aciona o gerador 1 for diminuída o ângulo de potência diminui, diminuindo o fasor da diferença entre E_{f1} e a tensão terminal, o que diminui a corrente do estator, fazendo com que o gerador entregue menos potência para a carga. Também nesta condição o fator de potência não é mais unitário e sim atrasado, onde mudanças devem ocorrer no gerador 2.

No gerador 2 o ângulo de potência aumenta, produzindo uma diferença fasorial maior da tensão, que atua para estabelecer um aumento da corrente do gerador 2, sendo esta corrente adiantada e visto que a carga é resistiva haverá uma corrente reativa circulante entre os dois geradores,

portanto um gerador está com corrente atrasada e outro adiantada.

Ou seja, se a excitação do enrolamento de campo de um dos geradores for aumentada/diminuída a do outro deve ser diminuída/aumentada para manter a tensão constante e estabelecer o equilíbrio entre as máquinas. Um processo semelhante ocorre com relação às velocidades, agora referentes a tensão e a frequência.

II. OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

Esta aula tem por objetivo analisar as distribuições de potências ativa e reativa entre dois geradores operando em paralelo, alimentando uma carga de certa impedância.

III. MATERIAIS

- Duas máquinas de corrente contínua funcionando como motor, ligadas em shunt;
- Duas máquinas síncronas funcionando como gerador, ligadas em estrela;
- Duas fontes de tensão contínua de 220 V/ 1 A;
- Duas fontes de tensão contínua de 220 V/ 10 A;
- Três wattímetros monofásicos;
- Seis lâmpadas de 220 V, ligadas em estrela, simulando a carga resistiva;
- Multímetros e um tacômetro;
- Um disjuntor tripolar.

IV. DESENVOLVIMENTO

Inicialmente, foi montado o protótipo no laboratório conforme mostrado na figura 5.

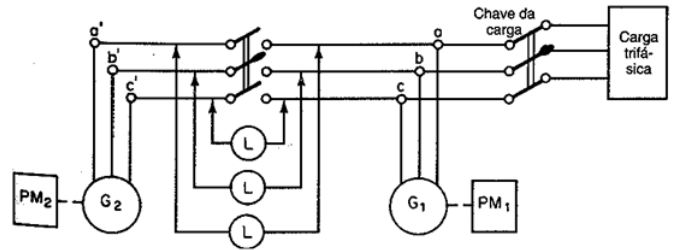


Figura 5. Montagem do protótipo. [2]

A. Variação da Potência Ativa

Para a verificação da contribuição de cada gerador no fornecimento da potência ativa, foram realizadas as medições, as quais são apresentadas na tabela I, descritas nas etapas abaixo.

Obs.: C.A.C é contribuição de cada gerador para alimentação da carga.

- Primeira etapa: Ligar o gerador 1 no barramento. No barramento ligar uma carga conectada em estrela. Entre o gerador e o barramento colocar um wattímetro e também outro wattímetro entre o barramento e a carga. Ajustar a rotação da máquina primária e excitação do enrolamento de campo do gerador

para que o mesmo entregue para a carga sua tensão e frequência nominais, anotar as medidas;

- Segunda etapa: Fazer o paralelo do segundo gerador com o barramento. Ligar também um wattímetro entre este gerador e o barramento;
- Terceira etapa: Atuando na potência mecânica fornecida ao eixo do gerador 2, fazer com que o mesmo se responsabiliza pelo fornecimento da potência ativa;
- Quarta etapa: Diminuindo a potência da sua máquina primária fazer com que o mesmo passa a consumir potência;
- Quinta etapa: Atuando na potência mecânica fornecida ao eixo do gerador 1, fazer com que o mesmo se responsabiliza pelo fornecimento da potência ativa;
- Sexta etapa: Diminuindo a potência da máquina primária que aciona o gerador 1 fazer com que o mesmo passa a consumir potência;

V. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Tabela I

VALORES MEDIDOS DAS POTÊNCIAS ATIVAS, TENSÕES, CORRENTES E FATOR DE POTÊNCIA ENTRE A REDE ELÉTRICA E O BARRAMENTO E A CONTRIBUIÇÃO DE CADA GERADOR.

Etapas	Rede Elétrica Barramento - Carga			
	P_1	V_{F1}	I_1	$\cos(\Theta_1)$
1	360	220	0,67	1
2	360	277	0,76	1
3	360	290	0,77	1
4	360	275	0,76	1
5	360	276	0,76	1
6	360	234	0,74	1
	C.A.C. Gerador 1			
	P_2	V_{F2}	I_2	$\cos(\Theta_2)$
1	360	220	0,9	0,5402
2	600	276	0,76	0,8498
3	420	290	0,45	0,9561
4	660	274	0,85	0,8419
5	720	271	1,04	0,7589
6	240	230	0,31	1
	C.A.C. Gerador 2			
	P_3	V_{F3}	I_3	$\cos(\Theta_3)$
1	-	-	-	-
2	0	245	0,41	0,7186
3	360	290	0,48	0,2704
4	120	274	0,45	0
5	0	237	0,57	1
6	480	234	0,57	0,6788

Tabela II

VALORES MEDIDOS DAS POTÊNCIAS REATIVAS, TENSÕES, CORRENTES E FATOR DE POTÊNCIA ENTRE A REDE ELÉTRICA E O BARRAMENTO E A CONTRIBUIÇÃO DE CADA GERADOR.

Etapas	Rede Elétrica Barramento - Carga			
	Q_1	V_{F1}	I_1	$\cos(\Theta_1)$
1	0	234	0,74	1
2	0	306	0,79	1
3	0	254	0,73	1
4	0	317	0,89	1
5	0	258	0,72	1
	C.A.C. Gerador 1			
	Q_2	V_{F2}	I_2	$\cos(\Theta_2)$
1	0	230	0,31	1,0000
2	64,65	307	0,51	0,9108
3	80,13	257	0,52	0,8003
4	115,14	316	0,58	0,7780
5	46,32	259	0,45	0,9176
	C.A.C. Gerador 2			
	Q_3	V_{F3}	I_3	$\cos(\Theta_3)$
1	0	234	0,57	1,0000
2	108,20	307	0,48	0,6788
3	63,00	257	0,46	0,8462
4	137,94	317	0,57	0,6459
5	67,91	224	0,48	0,7753

B. Variação da Potência Reativa

- Primeira etapa: Estabelecer um ponto qualquer de funcionamento, para o qual o fornecimento de energia é dividido entre os dois geradores, potência ativa e operação com fator de potência unitário.
- Segunda etapa: Aumentar a excitação do enrolamento de campo do gerador 2;
- Terceira etapa: Diminuir a excitação do enrolamento de campo do gerador 2;
- Quarta etapa: Aumentar a excitação do enrolamento de campo do gerador 1;
- Quinta etapa: Diminuir a excitação do enrolamento de campo do gerador 1.

VI. CONCLUSÕES

Portanto a partir deste experimento podemos tirar algumas conclusões a respeito, como [1]:

- O sistema está condicionado a que a potência total fornecida pelos dois geradores em conjunto deva ser igual à quantidade consumida pela carga. Nem f_{sis} nem V_ϕ estão condicionados a serem constantes
- Para ajustar o compartilhamento de potência ativa entre os geradores sem alterar f_{sis} , simultaneamente, aumente o ponto de ajuste no regulador de um gerador e diminua o ponto de ajuste no regulador do outro gerador. A máquina, cujo ponto de ajuste no seu regulador foi incrementado, assumirá uma parte maior da carga.
- Para ajustar f_{sis} sem alterar o compartilhamento de potência ativa, simultaneamente, aumente ou diminua os pontos de ajuste em ambos os reguladores.
- Para ajustar o compartilhamento de potência reativa entre os geradores sem alterar V_ϕ , simultaneamente, aumente a corrente de campo de um gerador e diminua a corrente de campo do outro gerador. A máquina, cuja corrente de campo aumentou, assumirá uma parte maior da carga reativa.
- Para ajustar V_ϕ sem alterar o compartilhamento de potência reativa, simultaneamente, aumente ou diminua as correntes de campo de ambos os geradores.

REFERÊNCIAS

- [1] Stephen J Chapman. *Fundamentos de máquinas elétricas*. AMGH editora, 2013.
- [2] J. T. Resende. *Laboratorio de Máquinas Elétricas 2 - Prática 06*. D.E.L.-UFV, 2022.