

ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO DE REGULADORES DE TENSÃO EM GERADORES SÍNCRONOS PARA PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

João R. Cogo, Antonio T. L. de Almeida, José A. Lamoglia, Délvio F. Bernardes

Escola Federal de Engenharia de Itajubá

Caixa Postal - 50 Telex: 031-3485

CEP: 37500 - Itajubá - MG - Brasil

RESUMO

Este trabalho faz uma análise comparativa entre os efeitos de reguladores de velocidade brasileiros usados em geradores síncronos para pequenas centrais hidrelétricas frente a alterações de carga.

Vários registros gráficos são conseguidos com o uso de geradores de 15, 20, 25, 30, 40 e 60 [KVA] e de cargas com fator de potência variável.

INTRODUÇÃO

Atualmente, procura-se desenvolver no Brasil o Plano Nacional para Pequenas Centrais Hidrelétricas (PNPCH).

O seu objetivo básico é o desenvolvimento de diretrizes e a difusão de soluções econômicas de modo a viabilizar a utilização de pequenos aproveitamentos hidroenergéticos, atendendo sistemas isolados ou interligados.

Para atender as necessidades do PNPCH foram construídos os laboratórios de Eletromecânica e o Hidromecânico para Pequenas Centrais Hidrelétricas (LEPCH e LHPCH, respectivamente) com recursos da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) em convênio com a Escola Federal de Engenharia de Itajubá (EFEI).

O LEPCH, em particular, visa desenvolver pesquisas e realizar testes específicos e de rotina, destrutivos ou não, em equipamentos eletromecânicos que compõem uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH). Desta forma, é possível colaborar com pequenas e médias empresas Brasileiras, que fabricam e/ou prestam serviços ao setor de PCH, de modo a se obter equipamentos e componentes de alta qualidade e baixo custo.

Este trabalho é uma decorrência dos objetivos do LEPCH em atendimento às diretrizes básicas do PNPCH. Procura-se analisar o desempenho dos reguladores de tensão em geradores síncronos, fornecidos por fabricantes Brasileiros, os quais poderão ser utilizados em microcentrais hidrelétricas. Conforme a classificação da Eletrobrás (Centrais Elétricas Brasileiras S.A), as microcentrais hidrelétricas são aquelas que possuem potências inferiores à 100 [KW] [1].

CONSIDERAÇÕES GERAIS

São bem conhecidos nos meios técnicos os efeitos adversos que as quedas de tensão provocam na alimentação de cargas em geral.

A situação torna-se mais complexa se a citada alimentação for uma microcentral; como possuem baixas potências, elas são susceptíveis à variações bruscas de tensão. Adicionalmente, as cargas a alimentar, em geral, localizam-se na área rural e é comum que estas sejam agroindustriais.

Pelas características citadas, verifica-se que uma assistência técnica imediata pode ser de difícil obtenção; sendo assim, o conhecimento do comportamento e ajuste do regulador de tensão, bem como, a avaliação da capacidade do gerador síncrono em atender oscilações bruscas da carga (como a partida de motores, por exemplo) assume extrema importância para o usuário da microcentral.

METODOLOGIA DE ENSAIOS

Utilizando-se de seis geradores sem escovas (brushless) com as potências nominais de 60, 40, 30, 25, 20 e 15 [KVA] e fator de potência nominal igual a 0,8, realizou-se vários testes de entrada e rejeição de carga; a Figura 1 mostra um esquema de ligações simplificado para a execução dos ensaios. As máquinas forma conectadas para operar em 220 [V] e com regulação automática de tensão.

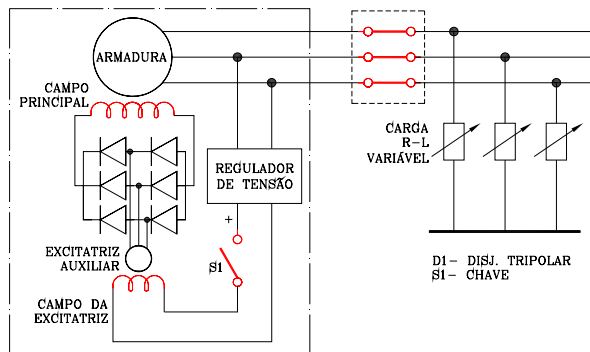


Figura 1 - Esquema de ligações simplificado - Entrada e saída de carga

Para os ensaios de rejeição de carga, as máquinas de 60, 40 e 25 [KVA] foram colocadas a operar com tensão e freqüência nominal alimentando cargas com 20% de sobrecarga, plena e meia carga, sendo o fator de potência variável entre 0,3 e 1. Por ocasião da rejeição obteve-se registros oscilográficos da tensão terminal da máquina. O mesmo procedimento foi adotado para a entrada de carga, sendo que a máquina em vazio estava com tensão e freqüência nominal. As Figuras 2, 3, e 4 fornecem os citados registros oscilográficos para a máquina de 25 [KVA].

Os geradores de potência de 30, 20 e 15 [KVA] foram ensaiados apenas a plena e meia carga com fator de potência 0,8.

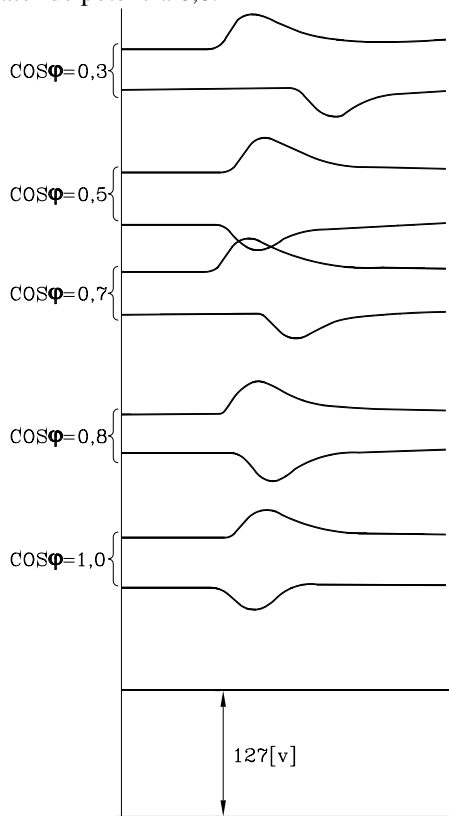


Figura 2 - Entrada com rejeição de carga - Máquina 25 [KVA]; 20% de sobrecarga

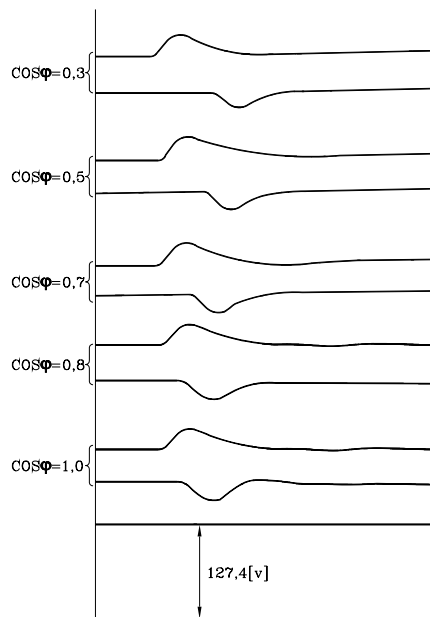


Figura 3 - Entrada e rejeição de carga - Máquina 25 [KVA]; plena carga

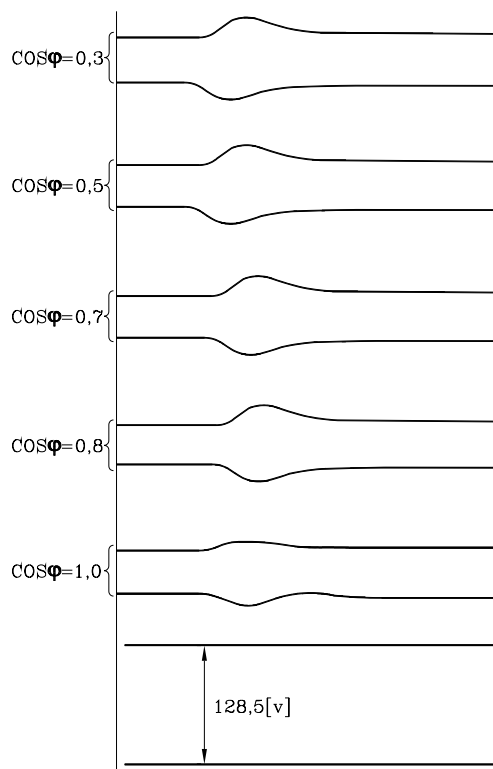


Figura 4 - Entrada e rejeição de carga - Máquina 25 [KVA]; meia carga

RESULTADOS OBTIDOS

Para permitir uma análise comparativa entre as diversas máquinas e respectivos reguladores montou-se a TABELA 1; em função da potência do gerador listou-se os valores máximos e mínimos e o estabilizado das tensões terminais, bem como, o

respectivo número de ciclos na entrada e rejeição da plena carga e fator de potência 0,8. A TABELA 2 fornece as mesmas grandezas para meia carga e fator de potência 0,8.

Para verificar o comportamento do conjunto regulador de tensão-gerador síncrono por ocasião da entrada e rejeição de carga, montou-se as TABELAS

3, 4 e 5 considerando-se diferentes carregamentos e fatores de potência para as máquinas de 60, 40 e 25 [KVA]. Para a entrada são fornecidos os valores mínimos das tensões terminais e ciclo necessários para a estabilização; na rejeição, tem-se os valores máximos.

Potência [KVA]	Rejeição de plena carga				Entrada de plena carga			
	Valor Máximo %	Ciclos	Valor Estabiliz %	Ciclos	Valor Mínimo %	Ciclos	Valor Estabiliz %	Ciclos
15	131,8	8	104,7	45	76,4	10	95,5	48
20	138,8	9	100,1	47	74	13	96,6	52
25	128,31	24	100	90	71,6	21	97,6	72
30	134	15	110	50	66	15	100	39
40	123,5	30	100	81	76,4	33	100	63
60	125,4	24	105,6	72	77,42	24	100	78

Potência [KVA]	Rejeição de meia carga				Entrada de meia carga			
	Valor Máximo %	Ciclos	Valor Estabiliz %	Ciclos	Valor Mínimo %	Ciclos	Valor Estabiliz %	Ciclos
15	131,8	8	104,7	45	82,7	12	96,3	50
20	125,7	10	105,7	44	74	13	96,6	52
25	118,4	21	104,6	72	77	27	97,7	60
30	124	15	100	35	76	13	100	40
40	118,3	27	102,3	69	86,3	30	100	66
60	111,4	24	100	48	92	22	100	60

S/S _N * 25 [KVA]	1,2				1,0				0,5			
	Rejeição		Entrada		Rejeição		Entrada		Rejeição		Entrada	
cosψ**	A*** %	B***	C*** %	D***	A %	B	C %	D	A %	B	C %	D
0,3	125,9	69	77,8	54	121,5	68	82,1	60	118,7	66	81,3	66
0,5	125,9	75	77,8	60	123,3	69	82,1	60	116,8	69	85	66
0,7	124	75	79,8	66	121,5	66	80,3	57	114,9	63	85	51
1,0	124	66	81,5	60	117,9	81	82,1	54	107,5	60	88,7	54

* Valor da potência da carga em relação à potência nominal do gerador, em "por unidade";

** Fator de potência da carga;

*** A - Valor máximo da tensão terminal (% da tensão nominal); B - Ciclos para a estabilização;
C - Valor mínimo da tensão terminal (% da tensão nominal); D - Número de ciclos para estabilização.

TABELA 4 - ENTRADA E SAÍDA DE CARGA - CARREGAMENTOS E FATORES DE POTÊNCIA VARIÁVEIS - MÁQUINA 40 [KVA]

S/S _N *	1,2				1,0				0,5			
40 [KVA]	Rejeição		Entrada		Rejeição		Entrada		Rejeição		Entrada	
cosψ**	A*** %	B***	C*** %	D***	A %	B	C %	D	A %	B	C %	D
0,3	123,4	72	80,5	60	123,9	75	76,1	63	117,3	66	82,7	42
0,5	123,4	72	82,4	66	126,3	66	76,1	57	118,2	66	88,6	57
0,7	123,8	75	84,4	81	123,9	72	73,7	63	166,3	63	89,6	81
1,0	119,5	72	86,3	69	119,1	72	85,6	63	105,5	54	94,5	48

* Valor da potência da carga em relação à potência nominal do gerador, em “por unidade”;

** Fator de potência da carga;

*** A - Valor máximo da tensão terminal (% da tensão nominal); B - Ciclos para a estabilização;
C - Valor mínimo da tensão terminal (% da tensão nominal); D - Número de ciclos para estabilização.

TABELA 5 - ENTRADA E SAÍDA DE CARGA - CARREGAMENTOS E FATORES DE POTÊNCIA VARIÁVEIS - MÁQUINA 60 [KVA]

S/S _N *	1,2				1,0				0,5			
60 [KVA]	Rejeição		Entrada		Rejeição		Entrada		Rejeição		Entrada	
cosψ**	A*** %	B***	C*** %	D***	A %	B	C %	D	A %	B	C %	D
0,3	118,5	66	86,1	66	115,9	72	87,3	84	113,6	57	90	54
0,5	118,5	69	83,4	66	111,3	66	88,6	69	113,6	69	90	72
0,7	113	57	86,1	75	110,9	63	88,6	69	113	54	93,2	54
1,0	117,1	50	87	60	111,3	57	90,9	45	107	51	93,2	39

* Valor da potência da carga em relação à potência nominal do gerador, em “por unidade”;

** Fator de potência da carga;

*** A - Valor máximo da tensão terminal (% da tensão nominal); B - Ciclos para a estabilização;
C - Valor mínimo da tensão terminal (% da tensão nominal); D - Número de ciclos para estabilização.

CONCLUSÕES

O principal objetivo visado neste trabalho é o de fornecer parâmetros básicos aos usuários de microcentrais, quanto ao aspecto da regulação de tensão.

A análise dos resultados permite concluir que:

- Quando da rejeição de carga nas condições nominais, os valores máximos e estabilizados da tensão terminal, bem como, o número de ciclos necessários para a estabilização não apresentam diferenças significativas entre as diversas máquinas. O mesmo ocorre para a entrada de carga.
- Na entrada e rejeição de meia carga com fator de potência nominal, o conjunto regulador de tensão-gerador síncrono se comportou basicamente da mesma forma que para a plena carga.
- Variando-se o fator de potência e o carregamento dos geradores, verifica-se que todos os conjuntos comportam-se, praticamente, da mesma forma nas diversas situações.
- Comparando-se os valores das TABELAS 3, 4 e 5 com os das TABELAS 1 e 2, obtém-se comportamentos bastante semelhantes de todos os conjuntos nas diversas situações.

Resumindo-se o exposto, a semelhança entre os resultados obtidos possibilita a utilização de um mesmo tipo de regulador nas diversas potências de geradores; além disso, pode-se adotar os mesmos valores de tensões terminais máximas, mínimas e estabilizadas, em condições operativas diferentes.

AGRADECIMENTOS

Aos alunos Fábio A. Gomes, Flávio L. G. S. Passos e Semi Zogheib, pela colaboração prestada na execução dos ensaios.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás) - “Manual de Microcentrais Hidroelétricas” - 1985 - Eletrobrás - Rio de Janeiro.

CURRICULUM VITAE

João Roberto Cogo: Engenheiro eletricista pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá em 1974; Mestre em ciências pela Universidade Federal de Santa Catarina em 1977; Professor da EFEI; Professor titular do Instituto Nacional de Telecomunicações - INATEL.

Délvio Franco Bernardes: Engenheiro eletricista pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá em 1982; Professor da EFEI.

Antonio Tadeu Lyrio de Almeida: Engenheiro eletricista pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá em 1980; Mestre em ciências pela EFEI; Professor da EFEI.

José Augusto Lamoglia: Formado pelo Instituto Nacional de Telecomunicações - INATEL em 1983; Professor da EFEI.