



GGH-018

21 a 26 de Outubro de 2001
Campinas - São Paulo - Brasil

GRUPO I
GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO HIDRÁULICA - GGH

MANCAIS DE ESCORA MAGNÉTICOS

Voith Siemens Hydro
Antonio Carlos Meyer

Voith Siemens Hydro
Edoardo Perrotti *

Voith Siemens Hydro
Lamartine Célio Silva

Voith Siemens Hydro
Ryuichi Ujii

RESUMO

O objetivo deste trabalho é apresentar as características e princípio de funcionamento de mancais de escora magnéticos. Também são abordados de forma detalhada os principais benefícios de sua utilização, tais como aumento do rendimento, melhoria da confiabilidade, simplificação dos equipamentos auxiliares e redução do torque de partida em moto-geradores.

Para ilustrar as aplicações destes mancais são apresentados os dados de mancais já colocados em operação pela Voith Siemens Hydro.

PALAVRAS-CHAVE: hidrogeradores, mancal de escora, mancal de escora magnético

1.0. INTRODUÇÃO

Um mancal de escora magnético é um sistema eletromagnético que pode ser incorporado a geradores ou moto-geradores verticais para reduzir a carga axial atuante nos mancais da máquina. Ele é um meio bastante eficaz de redução de perdas por atrito e também de outras perdas, e pode, por isto, aumentar o rendimento do gerador bem como melhorar a confiabilidade dos mancais.

No caso de moto-geradores os benefícios da utilização dos mancais magnéticos são maiores pois o sentido de rotação no modo gerador é oposto àquele do modo motor. Sendo assim o tipo normal de construção do segmento do mancal de escora - suporte excêntrico - não pode ser utilizado. Como consequência, são utilizados segmentos com suporte central para que a eficiência do mancal seja a mesma em ambos os sentidos de rotação. Com isto, a formação do filme de óleo não é a ideal e as perdas no mancal aumentam significativamente.

De acordo com estatísticas japonesas, cerca de 40% dos problemas constatados em moto-geradores envolvem o mancal de escora mecânico, a partir daqui denominados simplesmente como mancais de escora. Para superar estes problemas, a Fuji Electric Co iniciou o desenvolvimento de mancais magnéticos em 1953. Os mancais magnéticos foram futuramente adaptados a grandes máquinas, incluindo moto-geradores, e desde lá vêm sendo especificados por diversos clientes, em sua maioria asiáticos.

2.0. PRINCÍPIO E ESTRUTURA DOS MANCAIS

Um mancal de escora magnético é, essencialmente, um magneto que, quando energizado, separa a parte rotativa das partes estáticas conforme ilustra a Figura 1. As perdas por atrito são devidas à resistência do ar ao movimento das partes rotativas e, conseqüentemente, desprezíveis. Na aplicação em hidrogeradores ou moto-geradores, o mancal de escora magnético reduz a carga no mancal de escora convencional resultante do peso próprio das partes rotativas e do empuxo hidráulico.

Uma coroa magnética de ferro ou aço fundido com ranhuras concêntricas é formada na superfície inferior da cruzeta de escora do mancal convencional.

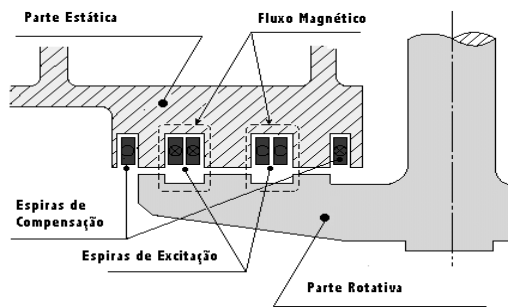


Figura 1 – Arranjo do Mancal de Escora Magnético

Espiras de excitação e espiras de compensação são inseridas nas ranhuras. As espiras de excitação são excitadas por uma fonte de corrente contínua e geram um fluxo no entreferro. A força de atração atuante no disco rotativo é proporcional ao quadrado do fluxo e pode ser calculada pela fórmula mostrada abaixo:

$$F = B^2 \cdot A / (8 \cdot 981\,000)$$

Onde:

F é a força magnética [kgf]

B é a densidade de fluxo no entreferro [Gauss]

A é a área efetiva [cm²].

Uma densidade de fluxo B entre 13000 e 15000 Gauss é normalmente escolhida e produz uma força magnética de 7kg/cm² a 9kg/cm².

As espiras de compensação geram uma força contra-eletromotriz em oposição àquela gerada pelas espiras de excitação e previnem a geração de fluxo dispersivo.

As principais vantagens da aplicação do mancal de escora magnético são melhores rendimento e confiabilidade do sistema de escora.

As perdas do mancal de escora podem ser classificadas em perdas por atrito na superfície do mancal e perdas devido à necessidade de lubrificação das partes rotativas. As perdas por atrito são fortemente influenciadas pela carga atuante na superfície do mancal bem como pela velocidade periférica das superfícies deslizantes e as perdas devido à lubrificação são devido à velocidade periférica das partes imersas em óleo.

Com a aplicação do mancal de escora magnético, a carga atuante no mancal de escora convencional devido ao peso próprio das partes rotativas e empuxo hidráulico pode ser reduzida através da força magnética. Isto significa que uma possibilidade de redução do tamanho do mancal e também uma eventual redução da velocidade periférica das partes rotativas e das partes imersas em óleo. Deste modo as perdas do sistema de escora podem ser reduzidas

significativamente através da utilização de mancais de escora magnéticos.

No caso de Samrangjin, um moto-gerador de 335.5 MVA, a redução das perdas devido ao mancal magnético chegou a 884 kW. Subtraindo-se os 30 kW de potência necessários ao funcionamento do sistema de escora magnético, chegamos à economia de 854 kW ou 0.28% do rendimento global do moto-gerador.

No caso de Chongpyong a diferença de perda com a implantação do mancal de escora magnético foi 340 kW. Considerando-se os 2 kW necessários para sustentar o mancal, o resultado é um ganho total de 338 kW, ou algo em torno de 0.16% do rendimento total do gerador.

Entretanto, em contrapartida a estas economias existem os custos com o investimento no mancal magnético. Também controles especiais são necessários para compensar rápidas mudanças no empuxo hidráulico. Além disto uma fonte de alimentação segura e confiável deve ser garantida para o mancal magnético.

A aplicação de mancais magnéticos constituem também uma alternativa para as convencionais bombas de alta pressão para levantamento da unidade durante a partida e parada da unidade, de modo a garantir um filme mínimo de óleo.

A espessura do filme de óleo e a temperatura do mancal têm influência significativa na vida útil do mancal. A espessura do filme de óleo pode ser aumentada e a temperatura do mancal diminuída através da redução da carga atuante no mancal de escora que pode ser viabilizada através do uso dos mancais magnéticos, um sistema simples e seguro.

Nas aplicações atuais, sistemas especiais de controle da corrente de excitação que supervisionam, por exemplo, as forças de atração, são utilizados para compensar as rápidas mudanças no empuxo hidráulico e para assegurar a melhor utilização do mancal magnético.

A relação custo/benefício do mancal magnético, que é o benefício da redução das perdas comparado com o aumento do investimento inicial, melhora com o aumento da unidade geradora. Por este motivo o uso de mancais de escora magnéticos tem se limitado a unidades relativamente grandes, como por exemplo Chonpyong (220 MVA), Samrangjin (335.5 MVA) e Palmiet (250 MVA).

3.0. BENEFÍCIOS DA UTILIZAÇÃO DE MANCAIS DE ESCORA MAGNÉTICOS

3.1. – Aumento do rendimento

A redução da carga sobre o mancal de escora reduz a perda por atrito das superfícies do mancal e também reduz a perda resultante da necessidade de lubrificar partes rotativas (perda por circulação de óleo).

As perdas por atrito podem ser representadas pela seguinte fórmula:

$$L_1 = k_1 \cdot z \cdot p \cdot (v_1)^3$$

Onde:

L_1 é a perda por atrito [kW]

k_1 é uma constante determinada pelo contorno do segmento

z é a viscosidade do óleo

p é a carga axial [kg]

v_1 é a velocidade periférica média das superfícies de deslizamento [m/s]

As perdas por circulação podem ser obtidas como segue:

$$L_2 = k_2 \cdot (v_2)^3$$

Onde:

L_2 é a perda por circulação [kW]

k_2 é uma constante determinada pelo contorno das partes imersas e da viscosidade do óleo

v_2 é a velocidade periférica média das partes imersas [m/s]

Com a adoção do mancal de escora magnético, a carga axial p pode ser reduzida com base na correspondente força de atração magnética. Além disto, v_1 e v_2 podem ter seus valores reduzidos devido à redução do tamanho do mancal de escora. Consequentemente L_1 e L_2 podem ser reduzidos significativamente, o que representa maior rendimento global do gerador.

Não existem perdas causadas por atrito com o mancal magnético. As únicas perdas referem-se à resistência no enrolamento de excitação.

Na realidade o rendimento pode ser aumentado significativamente, conforme mostra a Tabela 1 que mostra dois exemplos de redução de perda e aumento de rendimento de geradores equipados com mancais de escora magnéticos.

Exemplo	1	2
Potência do moto-gerador	220 MVA 220 MW	335.5 MVA 294.7 MW
Rotação (rpm)	450	300
Carga axial total (t)	580	1230
Capacidade do mancal de escora magnético (t)	250	590
Tensão de excitação (V)	19	20
Corrente (A)	120	1470
Redução das perdas no mancal de escora A (kW)	340	884
Perdas devido ao mancal magnético B (kW)	2.3	30
Redução total das perdas A-B (kW)	338	854
Ganho total de rendimento (%)	0.16	0.28

3.2.- Melhoria da confiabilidade

As espiras de excitação são de construção muito simples, estacionárias e alimentadas por baixa tensão. Consequentemente a confiabilidade é muito alta. Adicionalmente, não há temor de queima ou desgaste devido à ausência de atrito.

O espessura do filme de óleo aumenta devido à redução da carga axial. Existe também a possibilidade de redução da temperatura do mancal que minimiza a deformação térmica dos segmentos e também a redução da viscosidade ou oxidação do óleo lubrificante.

A Figura 2 mostra o efeito do mancal de escora magnético no mancal de escora, confirmado pelo equipamento de teste de mancal que tem capacidade para 1200 t.

Testes mostraram que há redução da temperatura em cerca de 15°C e a espessura mínima de filme de óleo aumenta com o fator 1.8. Consequentemente isto prova que o mancal de escora magnético é muito eficaz no aumento da confiabilidade do mancal de escora.

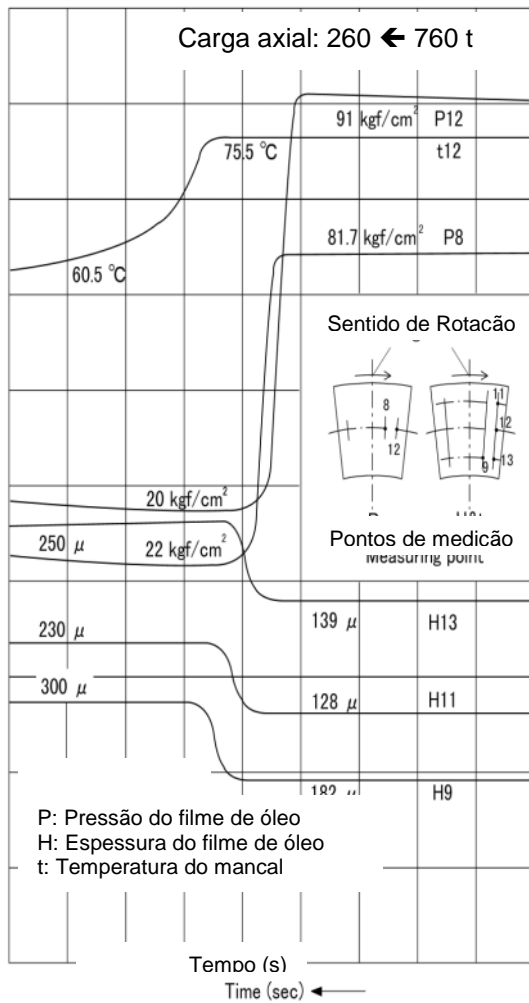


Figura 2 – Resultados dos testes mostrando os efeitos do mancal de escora magnético

3.3.- Simplificação dos equipamentos auxiliares

Como as perdas no mancal de escora podem ser reduzidas, as vazões de óleo e água refrigerantes para o mancal também podem ser reduzidas. Com isto os trocadores de calor, tubulações, bombas, filtros e outros equipamentos auxiliares também podem ser reduzidos tanto em capacidade quanto em tamanho. Consequentemente a disposição destes equipamentos auxiliares pode ser simplificada e a área que eles ocupam na casa de força pode ser reduzida. Bombas de óleo de alta pressão para garantir a espessura adequada de filme de óleo durante a partida e a parada também tornam-se desnecessárias. Tudo isto reduz também custos de manutenção.

3.4.- Redução do torque de partida

Como o torque de partida pode ser reduzido proporcionalmente à redução da carga axial, a partida é muito mais suave. Isto é particularmente importante para moto-geradores operando no modo motor.

4.0. APLICAÇÃO DE MANCAIS MAGNÉTICOS

A Tabela 2 mostra os geradores equipados com mancais magnéticos já fornecidos pela Voith Siemens desde 1955.

5.0. CONCLUSÃO

O uso de mancais de escora magnéticos tem sido eficaz no aumento do rendimento e na melhoria da confiabilidade de mancais de escora.

6.0. BIBLIOGRAFIA

- (1) GUMMER, J. H.: The international journal on Hydropower & Dams, Volume 5, Issue 1 - 1998
- (2) AJIRO, K.: Magnetic thrust bearing for generator-motor – Water Power & Dam Construction – Oct' 1985
- (3) Catálogo "Magnetic Thrust Bearing for Generator-Motor" – Fuji Electric

Tabela 2 – Usinas utilizando mancais de escora magnéticos							
Usina	Z	Potência (MVA)	Rotação (rpm)	Capacidade do mancal magnético (t)	Carga axial total (t)	Ano	Obs.
Palmiet, Coréia	2	250	300	458	924	1988	M/G
Samrangjin, Coréia	2	335.5	300	590	1230	1983	M/G
Chongpyong, Coréia	2	220	450	250	580	1978	M/G
Midono, Japão	2	65	167	315	672	1965	F
Hatanagi, Japão	1	58	200	290	493	1961	M/G
Wadagawa II, Japão	2	70	300	236	240	1958	P
Koromatagawa II, Japão	1	20.5	333	145	300	1963	D
Tochio, Japão	2	17.5	400	80	78	1956	P
Motosu, Japão	1	13	720	33	36	1956	P
Shinsapporo e Muroran, Japão	2	30	1000	38	42	1955	CS
M/G:Moto-Gerador, F: Francis, P: Pelton, D:Deriaz, CS: Compensador síncrono							