



São Paulo, 10/15 de abril de 1972

---

GRUPO DE ESTUDOS DA PRODUÇÃO

HIDRAULICA

ONDULAÇÃO DAS LÂMINAS ESTATORICAS DE  
GRANDES HIDROGERADORES

Eng<sup>o</sup> Daniel Kovarsky

Centrais Elétricas de São Paulo S.A.

1.0 - O PROBLEMA: Quando os projetos de hidrogeradores passaram devido ao aumento das potências a exigir diâmetros no entreferro de 5 a 6 m, notou-se o aparecimento de ondulações nas lâminas que constituem o pacote do estator. Tais ondulações podem ser facilmente observadas retirando-se os radiadores. Apresentam-se com um "comprimento de onda" da ordem de decímetros, e com "amplitudes" de 5 a 10 mm e, em casos extremos 15 mm. É fácil imaginar-se que tais ondulações - existem também pelo lado interno do estator. As ilustrações 1.0-1 e 1.0-2 mostram bem a aparência que o defeito apresenta.

2.0 - A ORIGEM: Experiências simples mostram que existe uma diferença de temperatura entre a carcaça e as lâminas da ordem de 20°C, enquanto que a temperatura das lâminas pode atingir facilmente 70°C. Ora, para um estator de 10 m de diâmetro no entreferro a diferença de temperatura acima (20°C) significa uma dilatação diferencial de 2 mm, enquanto que a tendência à dilatação com a máquina passando - do estado frio a sua temperatura normal ainda seria maior. Se o estator estiver rigidamente ancorado às suas bases, tal tendência ao movimento produzirá tensões mecânicas tangenciais que tenderão a produzir uma como que flambagem das lâminas aliviando assim as ditas tensões. Um artigo interessante (1) denomina o fenômeno como "flambagem lateral" (Lateral Buckling).

Aparentemente enquanto os diâmetros não são muito grandes, o pacote de lâminas absorve estas tensões de origem térmica, não havendo maiores consequências.

3.0 - AS CONSEQUÊNCIAS: Nos diâmetros maiores, porém, a ondulação produz alívio da pressão de aperto exercida nos dentes da máquina. As oscilações de fluxo magnético nessa região fazem vibrar as lâminas de aço silício com frequência dupla daquela gerada. As lâminas passam assim a raspar a isolação das bobinas - Ilustração 3.0-1. Daí, um curto fase-terra é eminente, tendo a CESP já tido mais de um caso desses. Ao mesmo tempo aparece nestes locais, um típico pó cor de ferrugem. É a chamada "Fretting Corrosion":- O atrito das lâminas entre si arranca pequeníssimas partículas de metal que imediatamente oxidam-se, depositando-se - Ilustração 3.0-2.

Esta coloração aparece em vários locais do estator. Digamos de passagem, que o costume que certos fabricantes tem de pintar todo o estator de vermelho dificulta sobremaneira a localização desses pontos.

4.0 - AS JUNTAS DE TRANSPORTE: Se os estatores são construídos em várias partes para facilitar o transporte produzem-se descontinuidades no circuito magnético. Temos notado que as ondulações tendem a se localizar perto destas juntas de transporte, ondulações estas, causadas provavelmente pela tensão mecânica existente nessa região, mesmo com a máquina ainda fria devido ao aperto de montagem.

5.0 - PROVIDÊNCIAS: Uma vez ocorrido o fenômeno, se o mesmo não for intenso, deve-se proceder a um encunhamento das lâminas soltas com inserção entre elas, de epoxy. Havendo possibilidade, pode-se também modificar a forma de ancoragem do estator permitindo que o mesmo se mova radialmente. Para o caso de novas instalações cremos que a construção sem juntas, fazendo-se o empilhamento do estator na obra, é a providência mais adequada, no sentido de dar a confiabilidade necessária às máquinas de grande porte.

6.0 - REFERÊNCIAS: Passamos em seguida a resumir interessantes informações que temos a respeito.

6.1. BC. Hydro & Power Authority: Vários geradores da Usina - G.M. Schrum apresentaram ondulações perto das juntas, tendo em um caso desprendido-se um dedo de aperto.

6.2. Hydro-Quebez: Temos notícias de que, desde há alguns anos, esta companhia tem somente especificado geradores com empilhamento na obra.

6.3. Eletricité de France: Já teve vários problemas de ondulações. A CEM (Construction Eléctro Mécaniques) tem uma solução com juntas, porém deixa o estator com possibilidade de movimento radial (2).

6.4. O artigo citado anteriormente (1) "Lateral Buckling of Stator Laminations" de autoria de W. Kellenberger chega às seguintes conclusões:

- deve-se aumentar o nº de suportes em "rabo de andorinha" diminuindo-se assim o comprimento de flambagem;
- não adianta aumentar excessivamente a pressão de aperto das lâminas;

6.5. Solução Elin-Union: Este fabricante austríaco apresenta - interessante solução, parecida com a suspensão usada em turbo-geradores.

6.6. Solução Alsthom: Tivemos oportunidade de discutir o caso no âmbito da exposição francesa realizada em São Paulo em 1971, com representante dessa companhia. Afirmou-nos que só tem plena confiança na construção sem juntas. Na realidade aquela companhia forneceu para a CESP numa máquina relativamente pequena (Usina Limoeiro, 17,5 MVA, 180 rpm, 4,6 m de diâmetro) sem juntas.

7.0 - CONCLUSÕES: Do exposto concluimos pela conveniência de se incluir nas especificações para o fornecimento de grandes hidro-geradores, a exigência da construção do estator sem juntas de transporte e conseqüente empilhamento no próprio local de montagem.

São Paulo, fevereiro de 1972.

B I B L I O G R A F I A

- (1) LATERAL BUCKLING OF STATOR LAMINATIONS DUE TO THERMAL STRESS  
IN LARGE HYDRO-ELECTRIC GENERATORS W. KALLENBERGER - THE -  
BROWN BOVERI REVIEW VOL. 53, Nº 9, SEPTEMBER 1966 pp 538-545.
- (2) CEM - CONSTRUCTIONS ELECTRO-MECANIQUE : REVUE CEM nº 62,  
JUNHO DE 1966.
- (3) ELIN JOURNAL - SPECIAL EDITION OF ELIN ZEITSCHRIFT, VIENNA,  
AUGUST 1966, PG. 24

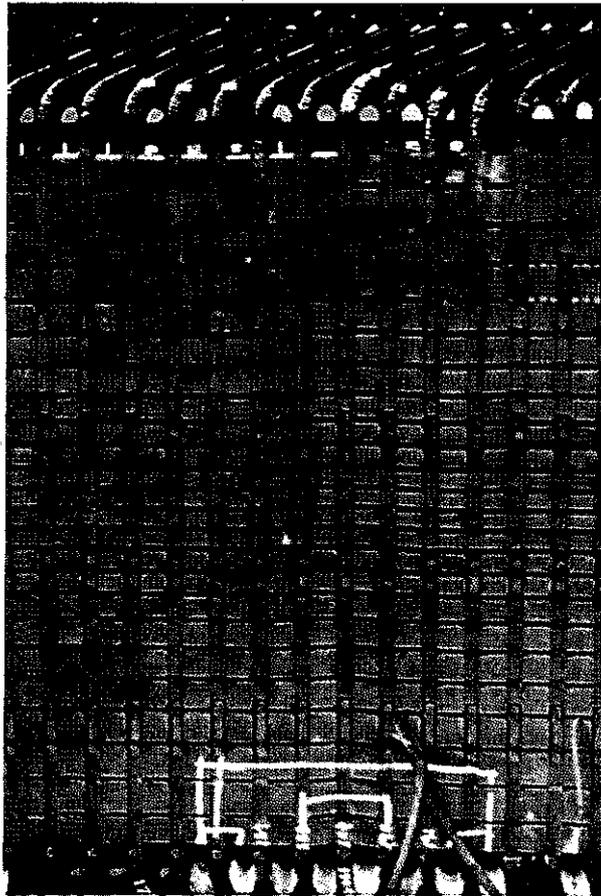


ILUSTRAÇÃO 1.0-1:- Ondulações de Lâminas próximas às juntas de transporte



ILUSTRAÇÃO 1.0-2:- Ondulações vistas pela parte posterior do pacote de lâminas

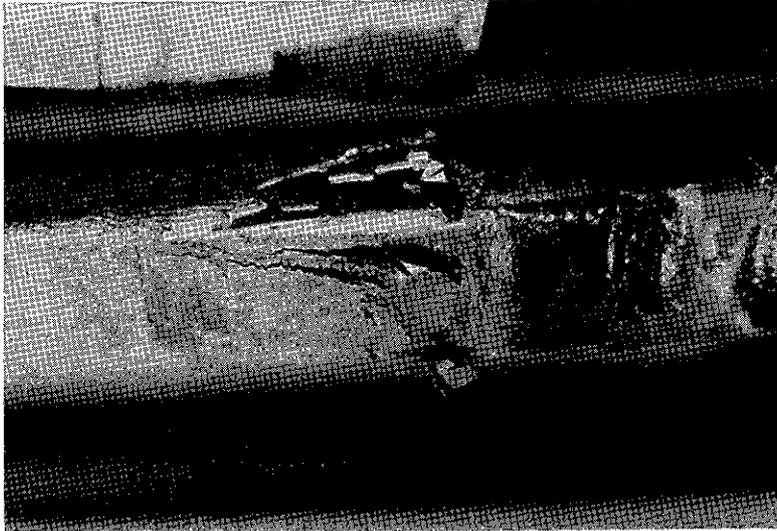


ILUSTRAÇÃO 3.0-1:- Isolação de bobina danificada pela vibração das lâminas

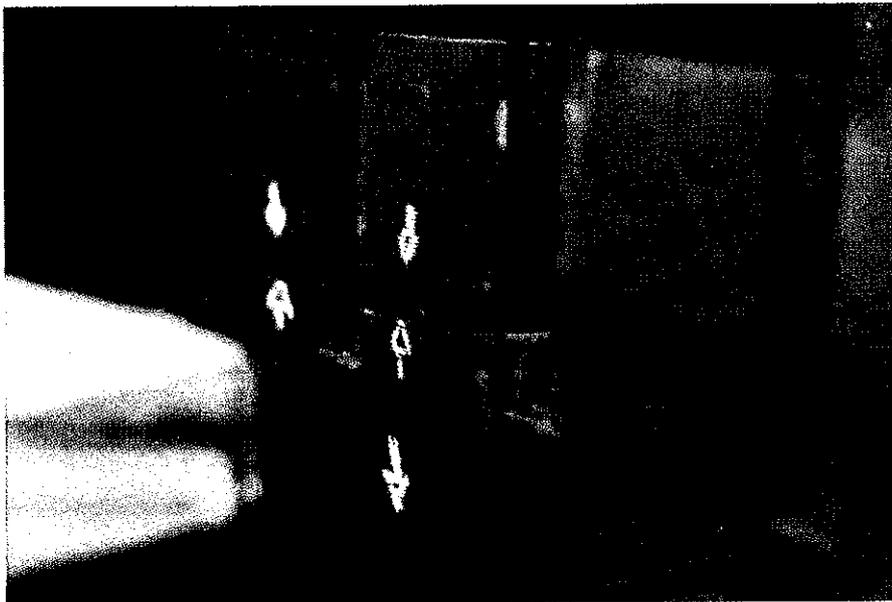


ILUSTRAÇÃO 3.0-2:- Ocorrência de "Fretting Corrosion"