



## Conservação da isolação de estatores bobinados - mecanismo de trilhamento superficial

Fernando Roberto Spezia  
Especialista em Processos Eléctricos e Sistemas de Isolação

Fredemar Runcos, PhD  
Consultor em P, D & I de Máquinas Eléctricas Rotativas

Friedrich Weege  
Consultor em Processos de Fabricação de Máquinas Eléctricas Rotativas

Waldiberto de Lima Pires  
Gestor de Tecnologia de Produtos

### 1. INTRODUÇÃO

Máquinas eléctricas rotativas devem assegurar o fornecimento da energia, mecânica (no caso de motores) ou eléctrica (no caso de geradores), requerida pelas diversas actividades existentes. Indústrias de base, intermediárias ou de bens de consumo, de alguma forma são dependentes da operação destas máquinas. O sistema de isolação é parte vital de uma máquina eléctrica rotativa! A sua durabilidade é determinante para a vida útil da máquina e, por consequência, impacta directamente a robustez e a confiabilidade dos processos. Diversos são os factores que influenciam a durabilidade de um sistema de isolação. Em serviço, em condições ideais de operação, alguns factores de envelhecimento são inerentes, fazendo com que a isolação degrade lentamente, conforme previsto, sem prejuízo à sua vida útil. Entretanto, sob condições não ideais de operação, a degradação da isolação pode ocorrer de maneira acelerada, reduzindo a vida útil da máquina. Dentre os factores que podem acelerar a degradação da isolação, levando a uma falha prematura, está o mecanismo conhecido como *surface tracking*, ou trilhamento superficial, que é aqui abordado. Trata-se, dentre outros aspectos, de consequência do acúmulo de contaminantes na superfície do enrolamento das máquinas.



Figura 1: Da esquerda para a direita, evolução do mecanismo de *surface tracking*



## 2. ACÚMULO DE CONTAMINANTES NA SUPERFÍCIE DA ISOLAÇÃO

Dependendo das características construtivas das máquinas, alguns ambientes de operação podem ser hostis ao sistema de isolamento. Portanto, atribuir o correto grau de proteção à máquina, bem como monitorar e assegurar a limpeza do seu enrolamento, são boas práticas que podem evitar graves problemas, nos quais se inclui uma possível falha catastrófica da isolamento.

As Figuras 1 e 2 apresentam um estator bobinado, sujeito a contaminação superficial em serviço. A poeira existente no ambiente, mesmo seca, uma vez depositada na superfície da isolamento, favorecia o aparecimento de descargas parciais. Em adição, quando combinada à umidade, permitia a transferência do potencial superficial de um ponto a outro das cabeças de bobina, pois formava uma camada eletricamente condutora. Neste caso, a combinação dos contaminantes sólidos existentes no ambiente com a umidade levou ao desenvolvimento do mecanismo trilhamento superficial. Trata-se da circulação de corrente na superfície da isolamento, que acaba por eliminar a umidade nos caminhos por onde circula, criando áreas de menor condutividade elétrica. Essas pequenas ilhas que se formam ficam sujeitas a campos elétricos elevados, como consequência do efeito de transferência do potencial elétrico superficial de um ponto a outro, resultando em descargas parciais na superfície da isolamento.

As sucessivas descargas superficiais produzem subprodutos, que tendem a formar um caminho condutivo (carbonização), aproximando pontos de potencial elétrico muito distintos, podendo resultar num arco elétrico, ou *flashover*, que pode ocasionar a ruptura definitiva da isolamento.



Figura 2: Trilhamento na superfície da isolamento contaminada

## 3. DETECÇÃO PREVENTIVA DO MECANISMO DE TRILHAMENTO SUPERFICIAL

Com base no que foi abordado até aqui, está claro que o excesso de contaminantes no enrolamento, por si só, é indesejável. No entanto, nem todo enrolamento dito “sujo” desenvolverá o mecanismo de trilhamento superficial, pois é necessária a combinação de alguns fatores e características para isso.

Inspeções visuais periódicas são boa ferramenta de percepção da contaminação superficial de um enrolamento. Além disso, para avaliações mais quantitativas, recomenda-se acompanhar a evolução da Resistência da Isolamento e do Índice de Polarização da Isolamento (IEEE Std 43) periodicamente, quando há oportunidade de parada da máquina.

O monitoramento da atividade de descargas parciais no estator (IEEE Std 1434 / IEC 60034-27-2) proporciona boa sensibilidade com relação a esse tipo de mecanismo de degradação, podendo ser usado como ferramenta de decisão, para a parada da máquina e análise mais detalhada da condição do estator. A Figura 3 exemplifica, para o caso abordado neste documento, como o diagnóstico de descargas parciais indicava claramente a existência de descargas de magnitude relevante (~30nC) na superfície das cabeças de bobina do enrolamento. Vale ressaltar que os padrões e magnitudes de descargas parciais podem ser significativamente diferentes caso a caso.

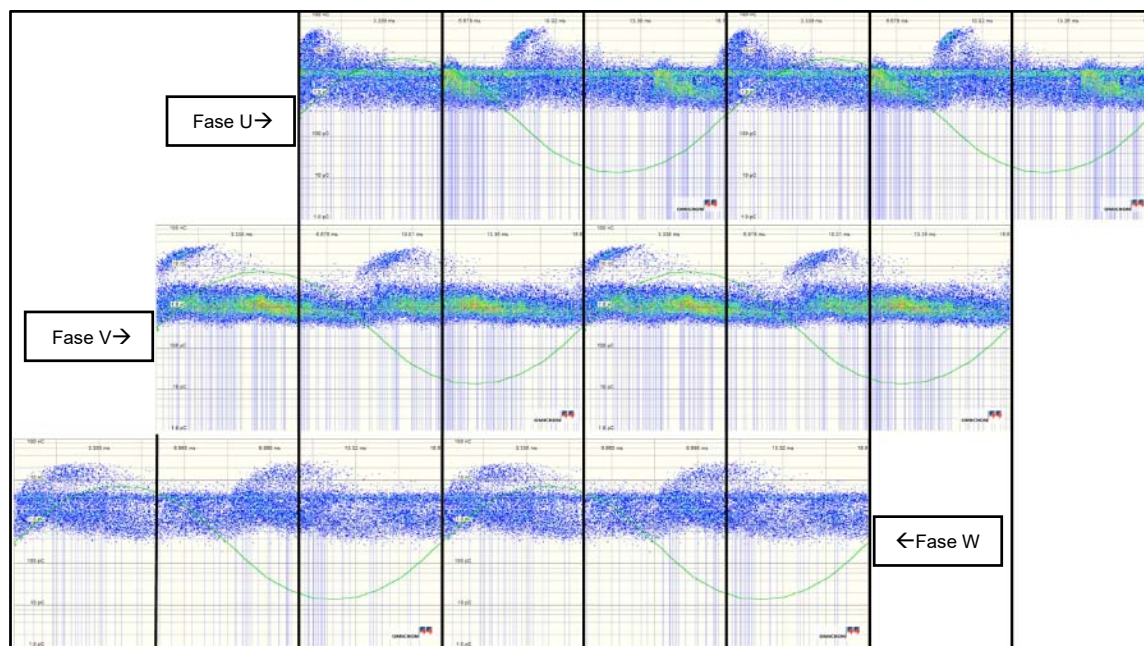


Figura 3: Exemplo do padrão de descargas parciais no estator aqui abordado (Condição prévia ao trilhamento com carbonização)

#### 4. AÇÕES CORRETIVAS

Quando detectado de forma prematura, o desenvolvimento do mecanismo de trilhamento superficial pode ser estancado por meio de uma adequada limpeza, seguida da completa secagem do enrolamento. Em contrário, quando de uma detecção tardia, o método de correção pode variar em nível de dificuldade, pois pode ser necessário eliminar os caminhos condutivos já existentes na superfície da isolação, requerendo um completo trabalho de reparo por profissional capacitado. Sendo assim, a análise da condição do enrolamento por profissional especializado é obrigatória, para definição do plano de ação.

#### 5. CONCLUSÃO

Devido ao mecanismo de trilhamento superficial, a presença de alguns tipos de contaminantes na superfície da isolação pode, por exemplo, aproximar o potencial de terra de pontos com elevado potencial elétrico, submetendo regiões de discontinuidades da isolação principal, como os terminais das bobinas, a campos elétricos mais elevados do que se considera seguro. Essa condição pode provocar a degradação acelerada da isolação e a conseqüente falha prematura (redução de vida útil) da máquina.

Por essa razão, o monitoramento contínuo ou as inspeções periódicas da condição superficial do enrolamento são importantes e podem evitar a necessidade de intervenções maiores. São diversas as práticas que podem ser adotadas para esse fim, desde as mais simples e baratas, como a realização de inspeções visuais dos enrolamentos, passando pela medida de grandezas elétricas, para avaliação da Resistência da Isolação e do Índice de Polarização da isolação, até as técnicas mais sofisticadas, como o diagnóstico do comportamento das descargas parciais no enrolamento.