

# SISTEMA DE TESTE EM ESTADORES BOBINADOS

Vitor Marcon – instrumentacao@weg.com.br

Salésio Zimmermann Junior  
Seção de Metrologia – WEG S.A.

## RESUMO

*Após o processo de bobinagem é necessário realizar uma seqüência de testes fundamentais para garantir a qualidade do estator bobinado. Os teste que devem ser realizados são: Teste de Tensão aplicada AC, teste de tensão aplicada DC, medição de resistência do enrolamento, sentido de rotação, teste do protetor térmico e teste de surto elétrico (surge test).*

## 1. INTRODUÇÃO

A implementação de novos testes, aumento da confiabilidade e eficiência dos mesmos nas linhas de fabricação é extremamente necessário e inevitável para atingirmos os índices de qualidade que desejamos.

O trabalho visa estabelecer um modelo ideal de um sistema de teste em estadores bobinados definindo os tipos de testes necessários, definições sobre princípios de funcionamento e métodos de avaliação dos resultados.

## 2. DESCRIÇÃO GERAL DE UM SISTEMA DE TESTE DE ESTADORES

Um painel de teste de estadores deve ter a possibilidade de testar estadores com 3, 6, 9 e 12 cabos. Os testes devem ser realizados automaticamente e subsequentemente, controlado por um computador, que quando identificado um defeito não realize os demais testes.

Na situação de linhas de fabricação rápida existe a possibilidade de disponibilizar duas estações de testes, uma para preparação e outra para execução do teste.

## 3. MÉTODOS DE TESTE

Todos os parâmetros que devem ser controlados nessa etapa de fabricação, bem como suas tolerâncias deverão estar disponível em um banco de dados do painel.

A preparação consiste em fornecer ao painel o item do estator a ser testado e automaticamente associará essa informação com o banco de dados.

O resultado do teste será comparado com as tolerâncias e informará ao operador através de forma sonora ou visual se o estator está aprovado ou rejeitado. Com isso, elimina-se a interferência do operador no resultado do teste.

O painel deve ter a possibilidade de tratar os dados e os resultados através das ferramentas estatísticas e disponibilizar as informações para uma rede, para um possível gerenciamento de chão de fábrica que se deseje.

## 4. DEFEITOS QUE DEVEM SER IDENTIFICADOS

Os defeitos que devem ser identificados após o processo de bobinagem:

- Choque (mau isolamento entre bobina e chapa do estator), variação na resistência, solda mau feita, ligações invertidas, sentido de rotação errado, curto entre espiras, fio fora da ranhura, curto entre fases, foi cortado ou interrompido, ligação errada, isolamento dobrado, isolamento danificado, protetor térmico danificado, fuga do protetor para o enrolamento.

## 5. TIPOS DE TESTES

Os testes que devem ser realizados estão descritos abaixo e estão na ordem de execução:

- Medição de resistência ôhmica
- Teste de tensão aplicada AC (Hipot AC)
- Teste de tensão aplicada DC (Hipot DC)
- Teste de Surto Elétrico (Surge Test)
- Teste de protetor térmico
- Teste do sentido de rotação

## 6. MEDIÇÃO DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA

A medição de resistência elétrica de motores exige equipamentos com resolução 0,001 ohm e com alta confiabilidade. Para se garantir essas medições faz-se necessários sistemas de medição precisos.

A fim de eliminar a influência de comprimentos de cabos, contatos usa-se uma tecnologia de medição de resistência a 4 fios (alicate kelvin).

Durante a medição de resistência faz-se necessário a correção do resultado para a temperatura de 20°C, conforme especificado pela engenharia.

A análise do resultado não compreende somente em comparar com o valor nominal, mas também a sua variação com os valores de resistência das demais fases (motores trifásicos)

## 7. TESTE DE SURTO ELÉTRICO (SURGE TEST)

Um típico estator bobinado é composto pelas fases, cada fase formada por grupos, cada grupo formado por bobinas e cada bobina, por sua vez formada por espiras.

A falha no isolamento do estator bobinado começa com um curto entre espiras consequentemente entre bobinas e finalmente entre fases. O teste de surto elétrico pode detectar os estágios iniciais de falhas no isolamento tais como: entre espiras, entre bobinas, entre fases, ligações invertidas, conexões abertas e número de espiras erradas.

Um breve surto de tensão é aplicada na bobina durante o teste que cria um gradiente de tensão (ou potencial) ao longo de todo comprimento do fio. Este gradiente produz um stress momentaneamente entre as espiras.

A bobina responderá, através de uma forma de onda senoidal amortecida. Cada bobina tem uma característica própria e única, que pode ser apresentada através de um discriminador de sinal (osciloscópio ou outro processador de sinal).

A forma de onda apresentada está diretamente relacionada com a indutância da bobina (existe outros fatores influenciando na forma de onda mas o principal é a indutância).

Um típico circuito é formado através da indutância da bobina (L) e da capacitância interna do equipamento conhecido como "circuito tanque".

A indutância de uma bobina é basicamente determinada através do número de espiras, formato da espira e do núcleo da mesma. Quando a indutância diminui, a frequência da forma de onda aumentará de acordo com a equação 1:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L * C}}$$

Equação 1: Determinação da frequência de oscilação do circuito.

O surge teste pode detectar uma defeito entre espiras que é devido a uma isolamento frágil. Se o potencial aplicado for maior que a resistência do dielétrico do fio a isolamento será rompido, as espiras estarão em curto, variando a indutância da bobina

consequentemente aumenta a frequência mudando a forma de onda original ou de referência.

A tensão ou amplitude da forma de onda é também alterada ou modificada devido a variação do valor da indutância proveniente de uma falha entre espiras. Isto é determinado através da equação 2:

$$U = L * \frac{di}{dt}$$

Equação 2: Determinação da tensão em função da indutância

Onde a corrente (i) varia de acordo com o tempo do pulso (t).

Quando a isolamento entre espiras é frágil, o resultado é uma oscilação de pequena na amplitude, deformada, torna-se instável, pode-se mover-se rapidamente da direita para a esquerda, e voltar para a posição original.

### 7.1 – Formas de ondas características de defeitos

Alguns tipos de defeitos tem formas de ondas características conforme e mostrada abaixo:

A variação das formas é esperado. Não podemos considerar como absolutas, cada bobina tem sua características própria (identidade).

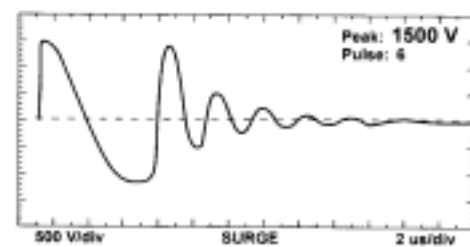


Figura 1: Bobina sem problema de isolamento

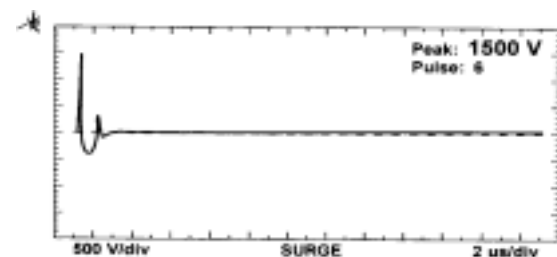


Figura 2: Enrolamento em curto

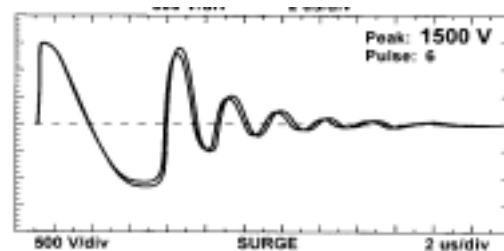


Figura 3: Curto entre espiras

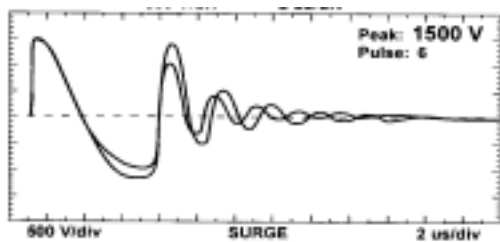


Figura 4: Curto em relação ao terra

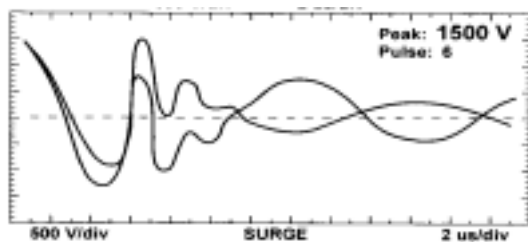


Figura 5: Curto entre fases

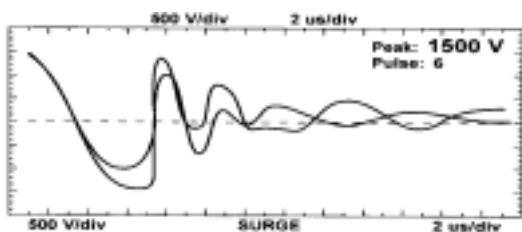


Figura 6: Curto entre bobinas

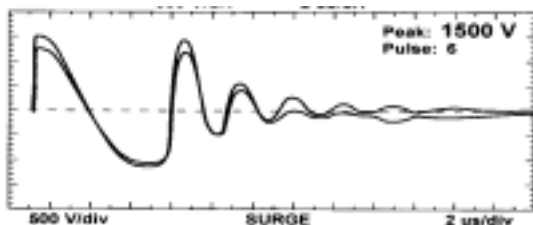


Figura 7: Ligação de bobina invertidas

## 7.2 – Métodos de Avaliação dos Resultados

### a) Comparação com uma referência:

Como critério de aceitação define-se uma curva como referência e a compara com o resultado obtido. Para motores trifásico, define-se o resultado de uma bobina e compara com as demais.

### b) Tolerância sobre a forma de onda de referência:

Defini-se em torno da forma de onda de referência a tolerância admissível para o

produto, quando o desvio for superior a tolerância conclui-se que o mesmo apresenta problema de isolamento

### c) Análise de similaridade:

Este método é muito usado em situações de aplicação do teste de surto elétrico em linha de produção, onde exige-se velocidade de fabricação, diagnóstico de produto automático (preferência sem influência do operador).

O método consiste em verificar o percentual de similaridade que existe entre a curva de referência e a obtida, a determinação do percentual de desvio é realizado através de aplicação de um complexo método matemático. Nesta situação, define-se o quanto por cento de desvio pode existir entre as formas de onda.

## 8. TESTE DE TENSÃO APLICADA DC (HIPOT DC)

A isolamento não sendo perfeita existirá uma condutibilidade, ou seja, uma fuga de corrente através do material isolante para o terra.

A resistência de isolamento é um fator importante na determinação da situação da isolamento do estator bobinado.

Através do teste de tensão aplicada DC é possível determinar a resistência de isolamento e verificar a resistência do dielétrico

A resistência de isolamento é determinada pela divisão do valor de tensão aplicada na bobina pela corrente de fuga medida. Ambas são monitoradas e controladas pelo HIPOT DC.

Um estator com bom isolamento tem um valor de resistência de isolamento muito alta. O valor de tensão a ser aplicado deve ser menor que o valor da resistência dielétrica do material. Se a isolamento falhar durante o teste significa que o isolamento está deteriorizado, fraco ou frágil.

Para um resistor quando a tensão está sendo aumentada, a corrente de fuga aumenta proporcionalmente. No entanto, a resistência de isolamento no mundo real raramente comporta-se desta maneira. A corrente num resistor típico aumentará proporcionalmente com a tensão até que o nível de tensão atinja a ruptura da isolamento, até esse momento o resistor tem um comportamento linear. **Somente depois da quebra da isolamento a corrente aumentará mais rápido do que a tensão.** A isolamento estará completamente deteriorizada quando a corrente aumentar extremamente rápido. Conforme figura 8 a seguir:



Figura 8: Característica do material isolante

O HIPOT DC controlará a corrente de fuga e quando o valor superar o especificado o teste então é finalizado para não danificar mais ainda o produto.

## 9. TESTE DE TENSÃO APLICADA AC (HIPOT AC)

O teste de tensão aplicada consiste em aplicar uma alta tensão por um tempo especificado, a finalidade é determinar se a capacidade do material isolante é suficiente para garantir a isolação sob condições normais de operação.

O valor de tensão que deve ser aplicado durante o período 1 minuto, está definido conforme equação 3:

$$U = 2 * U_N + 1000$$

Equação 3: Determinação do valor de tensão a ser aplicada

Caso seja necessário realizar o teste num intervalo de tempo menor, o valor de tensão deverá ser de 1,2 vezes maior que o valor calculado, por um período de 1 segundo.

Para evitar excessivo deteriorização do material isolante, repetidas aplicações deste teste não é recomendado.

O resultado do teste consiste em determinar valor da corrente que circula através do material isolante que deve ser limitado e definido pelo usuário.

## 10. TESTE DO PROTETOR TÉRMICO

Os enrolamentos de motores geralmente contém protetores térmicos. Os protetor térmico pode ser testado através da medição de resistência, verificação de continuidade e a verificação da isolação em relação ao enrolamento.

## 11. TESTE DE SENTIDO DE ROTAÇÃO

Verificar o sentido de rotação é necessário para que possa identificar erros de ligação antes do processo de impregnação.

Para identificar o sentido de rotação consiste em usar um rotor alternativo ou sensor de efeito hall, as quais movem-se para dentro do estator durante o teste. O equipamento realiza a ligação do motor, alimenta o mesmo com um valor de tensão reduzido e quando energizado definirá qual o sentido que o mesmo irá girar.

## 12. CONCLUSÕES

A implementação de todos os testes descritos no trabalho é necessário e fundamental para garantir a qualidade de produto. No entanto, faz-se necessário avaliações criteriosas na implementação dos mesmos sobre os seguintes pontos: definições de tolerâncias e limites admissíveis para o produto, funcionabilidade dos mesmos na linha de fabricação, segurança do operador, análise da aplicação com intuito de evitar possíveis danificação ao produto.

## 13. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] NEMA MG 1.3.631/93, "Motors and Generators, High-potential Tests", *National Electrical Manufactures Association*, revision number 4, June, 1997
- [2] IEC 34-1.8/1996, "Rotating Electrical Machines, other performance and test", *International Electrotechnical Commission*, 1996
- [3] Baker Instruments Company, "Digital Surge/DC Hipot Tester", August, 1997
- [4] Schleich Antriebs – und Steuerungstechnik GmbH, "Test for Threephase Stator", February, 1998
- [5] Slaughter The Protesters, "Coil&winding Testing Notebook, november/1990