

Projeto e automação de um equipamento para análise de trilhamento em isolamentos poliméricos

Kelly de O. Santos, Raimundo C. S. Freire, André. D. Germano, Alfredo Irineu da S. Neto

Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Campina Grande
Campina Grande, Paraíba, Brasil
kelly.santos@ee.ufcg.edu.br

Resumo — Este artigo tem como objetivo o projeto de um equipamento de verificação da resistência dos isolamentos poliméricos ao fenômeno de trilhamento, como o proposto na norma IEC 60587 (2007), a qual utiliza um equipamento elétrico para realizar ensaios sobre um plano inclinado. Devido ao alto custo do equipamento de ensaio e de maneira a contribuir com a sedimentação do domínio de execução dos ensaios de trilhamento em materiais poliméricos, faz-se necessário o desenvolvimento de um equipamento de baixo custo para a medição da resistência a trilhamento, com o intuito de estudar alguns materiais isolantes elétricos sob severas condições ambientais. O equipamento será utilizado na avaliação de novos materiais ou revestimentos poliméricos a serem aplicados em isoladores com o intuito de mitigar a corrente de fuga e aumentar a sua suportabilidade elétrica. A automatização da estrutura elétrica do equipamento será realizada através de algoritmos implementados utilizando a plataforma Arduino

Palavras-Chave — Trilhamento, IEC 60587, Redução de Custos, Ensaios, Revestimentos Poliméricos, Arduino.

I. INTRODUÇÃO

Os equipamentos presentes nos sistemas elétricos são constituídos por diversos tipos de materiais, dentre eles estão os materiais isolantes, que apresentam alta resistividade elétrica. Nas linhas de transmissão e distribuição de energia, o isolamento é feito por componentes denominados de isoladores.

Historicamente, os principais materiais empregados nos isoladores são a porcelana e o vidro, porém, nas últimas décadas, os isoladores poliméricos vêm ganhando espaço no setor elétrico. Nos Estados Unidos, eles já são a maioria. Esta substituição se deve a algumas vantagens desses materiais, como resistência ao vandalismo e hidrofobicidade.

Apesar das vantagens em se utilizar isoladores poliméricos, eles apresentam algumas limitações em relação ao envelhecimento superficial. Eles geralmente ficam expostos a chuvas, calor, radiação solar e poluentes, o que pode causar uma redução no desempenho do material, alterando suas propriedades mecânicas e dielétricas.

A constante exposição a contaminantes, tais como maresia, poeira, fuligem e outros depósitos, na presença de umidade, formam um filme contínuo que diminui a resistividade superficial dos materiais poliméricos, criando assim condições para se estabelecerem correntes entre pontos de diferentes

potenciais elétricos na superfície do material. Estas correntes, quando presentes através do filme condutor, ocasionam um aumento de temperatura, podendo provocar evaporações não uniformes, criando as bandas secas. Desse modo, ocorre um aumento da tensão elétrica nas regiões entre as bandas secas, provocando descargas superficiais nos materiais, podendo causar o fenômeno de trilhamento.

O fenômeno do trilhamento pode ser definido como a formação de um caminho condutor permanente através da superfície do material isolante, devido à presença de descargas superficiais [1]. Quando essas descargas ocorrem numa região localizada, ocasiona a erosão, que é a perda gradual de massa.

O monitoramento dos isolantes elétricos é indispensável e devido à crescente utilização de materiais poliméricos com essa finalidade, surgiu a necessidade de avaliar a sua capacidade de suportarem o trilhamento e garantir de construção de materiais mais confiáveis.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Com a crescente demanda de energia, tem-se a necessidade de um sistema elétrico eficiente e confiável. De acordo com [2], as falhas em isolamentos elétricos são as principais causas das interrupções no fornecimento de energia elétrica. Estas descontinuidades acarretam grandes prejuízos para consumidores e concessionárias de energia.

Com o intuito de minimizar as interrupções no sistema elétrico, é necessário o conhecimento dos elementos que o constituem e ações voltadas para a manutenção preventiva. Para tanto, estudos dos isolamentos do sistema e dos seus materiais são fundamentais, pois os materiais que o compõem são responsáveis pela redução de perdas e aumento da confiabilidade, proporcionando a transmissão com tensão elevada.

Atualmente, o uso dos isolamentos poliméricos tem ganhado muito espaço. Esses isolamentos estão sujeitos a vários tipos de estresses ambientais, elétricos, mecânicos e térmicos, causando o seu envelhecimento [3]. O envelhecimento destes materiais é entendido como uma mudança não reversível das características isolantes do material e acontecem devido às solicitações elétricas, mecânicas, térmicas e químicas as quais estão submetidos. O principal fator contribuinte para o envelhecimento de materiais poliméricos é a degradação por trilhamento.

A. Trilhamento Elétrico

Materiais poliméricos possuem uma propriedade chamada hidrofobicidade, ou seja, são capazes de repelir um filme de água sobre sua superfície. Quando um material hidrofóbico é molhado, a água não se espalha, formando apenas algumas gotas discretas, o que pode ser observado na Fig. 1. Devido a esse fato, não ocorre a formação de películas de água, o que faz com que diminuam as correntes de fuga no isolamento polimérico, evitando a formação de bandas secas. Quando a propriedade da hidrofobicidade é perdida, ocorrem os fenômenos de trilhamento e erosão nos isolamentos.

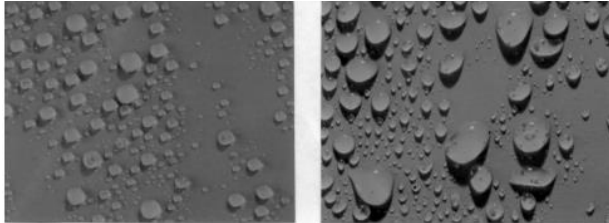


Fig. 1. Superfícies hidrofóbicas [4].

O processo de trilhamento elétrico é definido como um mecanismo de envelhecimento superficial do dielétrico devido à formação de um caminho condutor permanente, resultante da degradação devido à ação das descargas elétricas superficiais [1][3]. Os processos naturais de umidificação, oxidação e contaminação nas superfícies dos isolantes elétricos contribuem para a diminuição da resistividade elétrica do material, favorecendo o processo de trilhamento [1].

Segundo [5], os fatores que afetam a resistência do material isolante ao trilhamento podem ser classificados em três categorias:

1. Características químico-físicas do material, tais como a força da ligação química, o peso molecular e a resistividade térmica.
2. Condições ambientais tais como contaminação, névoa, chuva e luz ultravioleta.
3. Tensão aplicada e campo elétrico.

De acordo com [1] e [6], o processo de trilhamento elétrico pode ser descrito de acordo com as etapas apresentadas na Fig. 2:

- a) Contaminação e umedecimento da superfície do material, formando uma camada condutora com baixa resistividade superficial;
- b) Passagem de uma corrente superficial através da solução úmida contaminante, com alta dissipação de calor, causando perda de massa do fluido contaminante, favorecendo a formação de bandas secas;
- c) Interrupção da corrente superficial devido à presença de bandas secas, causando um aumento no campo elétrico local entre as bandas úmidas e iniciando as descargas superficiais;
- d) Devido às descargas superficiais, a superfície do isolante atinge elevadas temperaturas, causando a

formação de resíduos à base de carbono levando o material a uma gradual degradação;

- e) Propagação e aumento do resíduo carbonáceo condutor;
- f) Ruptura completa da superfície do material isolante, fazendo que o material se comporte como um condutor de eletricidade.

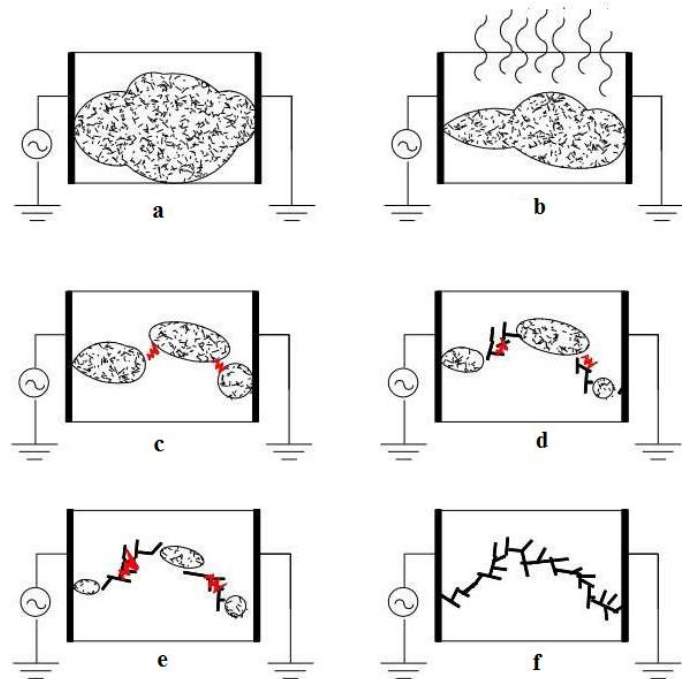


Fig. 2. Processo de trilhamento elétrico [6].

III. EQUIPAMENTO PARA ANÁLISE DE TRILHAMENTO SEGUNDO A NORMA IEC 60587

De acordo com [7], o equipamento para análise de trilhamento realiza dois tipos de ensaios para a avaliação de materiais isolantes elétricos por medição da resistência de trilhamento, usando um líquido contaminante. O ensaio 1 é realizado com uma tensão constante. Já o ensaio 2 é realizado com tensão variável.

Um circuito elétrico simplificado do equipamento de ensaio é representado na Fig. 3.

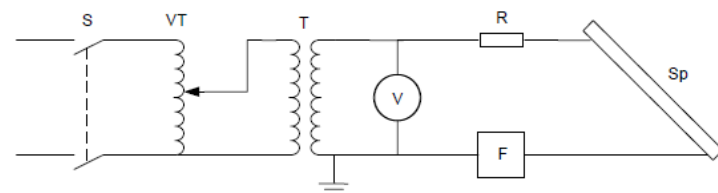


Fig. 3. Diagrama esquemático do circuito [7].

Em que:

- S – representa o interruptor de alimentação de energia;
 VT – representa o Transformador com tensão regulável;

R – representa o resistor de série;

V – representa o Voltímetro;

Sp – representa a amostra;

F – representa o dispositivo de sobrecorrente, fusível ou relé.

O equipamento é capaz de realizar o ensaio de 5 amostras ao mesmo tempo. De acordo com [7], para o ensaio de tensão constante, são utilizadas preferencialmente os seguintes valores de tensões de ensaio de 2,5 kV, 3,5 kV e 4,5 kV.

De acordo com o nível de tensão escolhido, deve ser selecionado o resistor equivalente e a taxa de fluxo de contaminante a qual as amostras serão submetidas, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros de ensaio [7].

Tensões de Ensaio (kV)	Tensões de Ensaio Preferidas (kV)	Taxa de Fluxo de Contaminantes (ml/min)	Resistência do Resistor em Série (kΩ)
1,0 a 1,75	-	0,075	1
2,0 a 2,75	2,5	0,15	10
3,0 a 3,75	3,5	0,3	22
4,0 a 4,75	4,5	0,6	33
5,0 a 6,0	-	0,9	33

Os ensaios são realizados a uma temperatura ambiente entre 23°C e 25°C. Os corpos de prova são montados com a superfície plana a ser ensaiada voltada para baixo e inclinada 45° em relação a horizontal, com os eletrodos separados a uma distância de 50 mm, como ilustrado na Fig. 4.

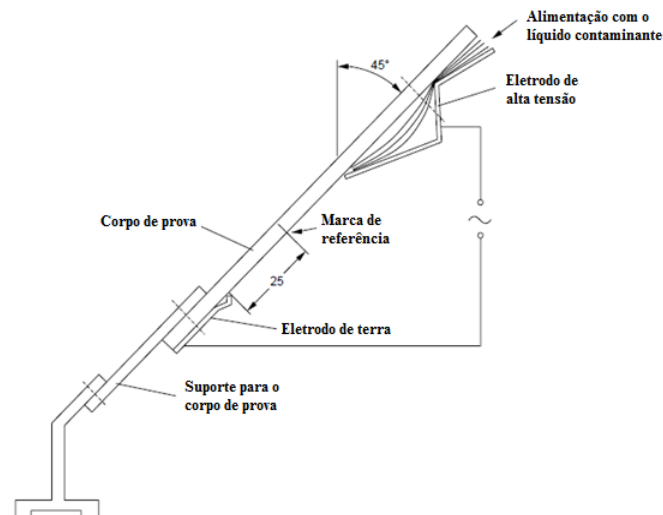


Fig. 4. Diagrama esquemático do circuito [7].

Com as amostras devidamente posicionadas e o contaminante fluindo uniformemente de acordo com a tensão a

ser escolhida, é possível então iniciar um dos dois métodos de ensaio.

- Método 1 – Aplicação de tensão constante: Seleciona-se uma tensão entre as tensões de teste preferenciais de acordo com a Tabela 1. A tensão deve ser alcançada no prazo máximo de 10 s e deve permanecer inalterada durante 6 h.
- Método 2 – Aplicação de tensão com controle gradual: Seleciona-se um valor de tensão inicial, múltiplo de 250 V, mantém-se por 1 h e a tensão é elevada em 250 V a cada hora subsequente. Deve-se observar que como ocorre o aumento de tensão, a taxa do fluxo de contaminante e o valor do resistor também irão aumentar de acordo com a Tabela 1.

Em ambos os métodos de ensaio, a tensão de trilhamento será a tensão mais elevada, suportada pelos 5 corpos de prova, sem ocorrência de falha, durante 6 h. O critério de parada do ensaio é quando o valor da corrente no circuito exceder 60 mA e persistir por mais de 2 s, ou quando uma amostra apresentar um buraco devido a erosão ou uma amostra inflamar.

IV. PROJETO DE AUTOMAÇÃO DO EQUIPAMENTO PARA ANÁLISE DE TRILHAMENTO

A montagem do sistema de teste e a automação da estrutura elétrica do equipamento será realizada através da implementação de rotinas computacionais em um microcontrolador. Essas rotinas são compostas por três módulos: Módulo de entrada, módulo de análise e processamento de dados e módulo de saída, como ilustrado na Fig. 5.

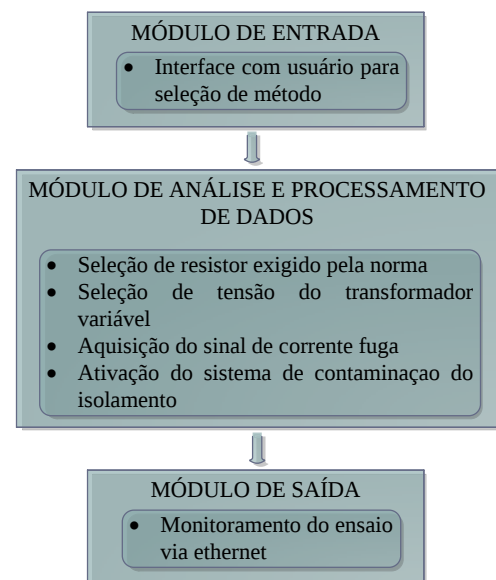


Fig. 5. Diagrama sequencial de operação.

A. Módulo de entrada

A unidade de entrada de dados é responsável por realizar a interface entre o equipamento de teste e o usuário. Essa

unidade também é encarregada pela seleção do método de ensaio, através da utilização de um teclado matricial acoplado ao microcontrolador como periférico de entrada.

B. Unidade de análise e processamento de dados

1) Seleção de resistor exigido pela norma:

A seleção do resistor a ser utilizado durante o ensaio será feita por meio de um sistema eletromecânico o qual será acionado através do Arduino.

2) Seleção da tensão para o ensaio:

A seleção para tensão no ensaio consiste no arranjo em VT e T (ilustrado na Fig. 3) proposto pela norma, em que de acordo com a relação de transformação de T no arranjo proposto será setado um valor de tensão para VT. Após o usuário do equipamento determinar a tensão preferida ocorrerá o norteamto no transformador variável (Variac) através de um motor de passo de alto torque e precisão. O ajuste refinado da tensão em VT será obtido por uma realimentação negativa composta por um retificador de onda completa em ponte seguida de um filtro capacitivo enviando um ripple de saída ao conversor analógico-digital do microcontrolador, verificando assim a tensão instantânea e norteamdo o Variac, como ilustrado na Fig. 6.

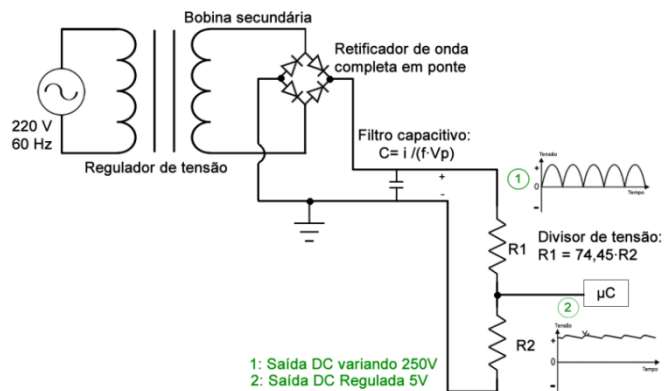


Fig. 6. Diagrama do circuito de realimentação negativa para seleção da tensão no ensaio.

3) Aquisição do sinal de corrente de fuga:

Havendo uma relação entre a intensidade do campo magnético e a amplitude da corrente elétrica no condutor primário do ensaio, será utilizado os sensores de efeito Hall, que nada mais é que um transdutor que quando submetido a um campo magnético varia sua tensão de saída.

O sensor de efeito Hall utilizado para a aplicação será o Allegro™ ACS712, que possui isolamento entre o circuito do ensaio e o circuito de aquisição, também fazendo medições na faixa de até cinco ampéres e fornecendo um sinal analógico ao conversor analógico-digital com resolução de 10 bits do microcontrolador, assim mantendo uma sensibilidade necessária para a aquisição do sinal.

4) Ativação do sistema de contaminação:

O sistema de contaminação das amostras é representado no diagrama da Fig. 7.

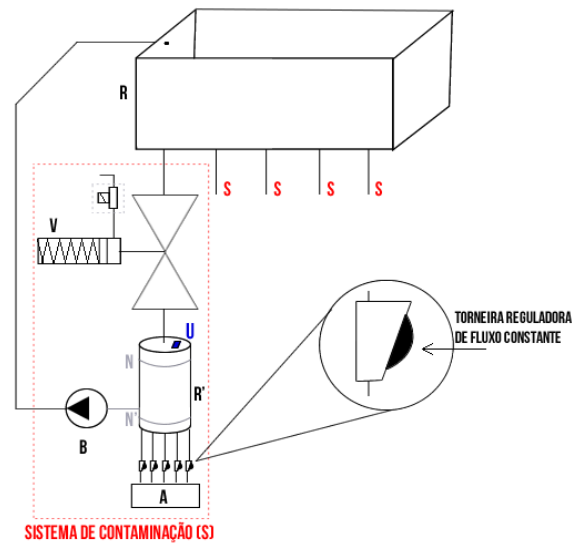


Fig. 7. Diagrama do sistema de contaminação do equipamento.

Em que:

R: Reservatório do contaminante;

V: Válvula solenóide (normalmente fechada);

R': Reservatório divisor do contaminante;

B: Bombeamento para diminuição de pressão de e reabastecimento do reservatório;

A: Amostras;

N: nível em R' para a ativação de B;

N': nível em R' para a desativação de B;

U: Sensor ultrassom para medição de N e N'.

O sistema de contaminação é inicializado com o acionamento das válvulas solenoides de acordo com o método de ensaio e a tensão selecionada.

C. Módulo de saída

O módulo de saída de dados é responsável pelo monitoramento instantâneo da corrente de fuga e pela exibição do resultado final do ensaio. Estes serão realizados através de uma rede ethernet entre o equipamento de ensaio e o computador do usuário.

V. CONCLUSÃO

A análise do comportamento dos materiais poliméricos como isolantes elétricos possibilita a verificação da capacidade desses materiais em suportarem os fenômenos de trilhamento e erosão.

A partir da necessidade de avaliação dos materiais poliméricos, foi proposta a construção de um equipamento utilizando a plataforma Arduino, para a execução de ensaios que avaliarão materiais isolantes elétricos sob severas condições ambientais.

O aparelho proposto, ao contrário dos equipamentos já existentes, apresenta um baixo custo. O projeto de automação

do equipamento conta com sistemas simples de controle e a pesquisa desenvolvida estende-se não apenas ao estudo dos materiais já existentes, mas também à avaliação de novos materiais poliméricos com intuito de aumentar a sua suportabilidade elétrica.

REFERÊNCIAS

- [1] R. F. Silva, “Trilhamento Elétrico sobre Materiais Poliméricos pela Análise da Energia Absorvida Devido as Descargas Elétricas Superficiais”. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2014.
- [2] D. C. Bezerra, “Revestimento de Isoladores Elétricos Utilizando Borracha de Silicone/Alumina Trihidratada/Nanosílica”. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, PB. 2014.
- [3] E. G. C. Silva, M. Munaro, F. Piazza, S. R. Júnior, L. E. Linero e L. C. Hartmann. Desenvolvimento de nova metodologia para avaliação de equipamentos e acessórios de redes compactas protegidas sob condições de multiestressamento. [S.l.]. 2007.
- [4] IEC TS 62073. Guidance on the measurement of wettability of insulator surfaces. International Electrotechnical Commission IEC, Genf. 2003.
- [5] M. M. A. Salama, M. M. Sallam. A Mathematical Model for Tracking Time Calculation for Polymeric Materials. Electrical Insulation, Conference Record of the 1992 IEEE International Symposium on. IEEE. [S.l.]. 1992.
- [6] F. Tomczak. “Correlação entre Ensaios de Resistência ao Trilhamento Elétrico”. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2000.
- [7] IEC 60587. Electrical Insulating materials used under severe ambient conditions – Test methods for evaluating resistance to tracking and erosion. [S.l.]: [s.n.]. 2007.