

acúmulo de cargas espaciais nos cabos, que podem causar futuras falhas, conforme aponta um artigo de 2011 do IEEE [7]: “Esta metodologia de teste não detecta certos tipos de defeitos de isolamento e induz cargas espaciais, que podem agravar os defeitos existentes no isolamento de cabos extrudados já em operação”.

Esse fato pode ser entendido quando se verifica que o teste é realizado entre o condutor e a blindagem, os quais são separados pelo isolamento do cabo, tendo características elementares de um capacitor. Este, quando energizado em CC, é carregado até atingir a estabilidade, provocando a polarização da isolação.

O comportamento de um material dielétrico quando submetido a um campo elétrico depende da intensidade e intervalo de tempo de aplicação desse campo elétrico e ainda da temperatura do sistema. Se considerada a temperatura em regime de operação constante, o comportamento do dielétrico depende apenas da intensidade e tempo de aplicação do campo elétrico.

Estudos sobre polietileno reticulado [11] evidenciam que a relaxação do dielétrico depende da frequência do campo elétrico aplicado. No caso da corrente contínua, a polarização é cumulativa, ocorre sem inversão de sentido, levando consequentemente a um tempo maior para o realinhamento em estado natural das moléculas do polietileno.

Quando o comissionamento é realizado em corrente contínua e em tensões maiores que as de operação, o intervalo de tempo de relaxação é da ordem de dias. Desta forma, o cabo isolado por esse material tem maior probabilidade de falha da isolação quando submetido ao Hi-pot (CC) e devolvido de imediato ao serviço.

Por isso, em muitos parques eólicos do mundo, esse tipo de teste tem sido realizado com o emprego de corrente alternada (CA) e com frequência reduzida, da ordem 0,1 Hz. Esse tipo de teste é denominado VLF - *Very Low Frequency*. Apesar de ser conhecida, essa técnica tem sido pouco empregada no Brasil devido principalmente à ausência de norma nacional que padronize os testes VLF e à necessidade de equipamento especial, que apresenta um custo de aquisição muitas vezes superior a um Hi-pot (CC).

No mundo, os testes em VLF são realizados há mais de 15 anos e desde 2004 o guia IEEE 400.2, apresentado a seguir, padroniza sua realização [9].

Guia IEEE 400.2

A última versão do IEEE 400.2 - *Guide for field testing of shielded power cables systems using very low frequency (VLF) (less than 1 Hz)*, que descreve a metodologia para realizar testes em VLF para cabos isolados com tensão nominal entre fases de 5 kV a 69 kV [10], entrou em vigor em 2013. Embora a frequência em VLF compreenda valores entre 0,01 Hz e 1 Hz, o guia estabelece que a mais comum é 0,1 Hz, podendo ser empregadas formas de onda senoidal ou cosseno-retangular [10].

São estabelecidos parâmetros para teste dos cabos em três momentos do ciclo de vida [10]:

- instalação: após instalação do cabo, mas antes da conexão de terminais, acessórios e energização;
- aceitação: após instalação do cabo e seus acessórios, porém antes da energização; e
- manutenção: durante a vida operacional do cabo.

O valor de tensão a ser utilizado no teste é definido de acordo com o ciclo de vida, tensão nominal e forma de onda de teste do cabo [10].

A título de exemplo: um cabo de tensão nominal 35 kV deve ser submetido a uma tensão de 39 kV rms ou 55 kV de pico quando realizado o teste de instalação com a forma de onda senoidal. Essa tensão deve ser mantida por 60 minutos, quando utilizada a frequência de 0,1 Hz [10].

Há uma série de considerações adicionais e variações de parâmetros de teste estabelecidos pelo guia. Por esse motivo, é fundamental analisar detalhadamente as condições operacionais dos testes e também as características do equipamento utilizado [10].

Vale destacar que os ensaios de tensão aplicada em VLF no comissionamento não avaliam possíveis defeitos incipientes, como, por exemplo, *water trees*. Esse fenômeno pode ser verificado por meio de medições de Tangente Delta do isolante (o Guia IEEE fornece parâmetros para essa avaliação).

Exemplo de aplicação do ensaio em VLF

Com o objetivo de exemplificar a aplicação da técnica de ensaio em VLF, é apresentado um resumo do comissionamento realizado em um parque eólico localizado na região Nordeste do Brasil. Em função de aspectos de confidencialidade, o nome do empreendimento não pode ser divulgado.

Os cabos ensaiados possuem isolação em XLPE, condutor de alumínio, classe de isolação 20/35 kV e estão montados na configuração de trifólio.

Toda a metodologia dos ensaios foi baseada no Guia IEEE 400.2, através da utilização de equipamento específico importado, de fabricação europeia. Cada ensaio durou 1 hora.

Por se tratar de um ensaio em que é aplicada apenas tensão, é possível conectar vários cabos em paralelo, pois o valor da tensão aplicada será o mesmo em todos. Essa forma de ligação permite economia de tempo durante a realização do ensaio, porém possui um limitador de capacidade do equipamento de ensaio em suportar a carga imposta pelos cabos. Uma vez que os cabos apresentam efeito capacitivo, e o capacitor equivalente resultante da associação em paralelo é obtido através da somatória das capacitâncias individuais, antes de ligar vários cabos em paralelo para realizar o ensaio deve-se somar as capacitâncias individuais e comparar com a capacidade do equipamento de teste. Neste caso, foi possível ligar alguns cabos em paralelo para realizar os testes, conforme mostra a figura 1.

Caso o cabo apresente uma capacitância superior ao valor suportável pelo equipamento de teste, é possível reduzir a frequência de ensaio e, consequentemente, a carga imposta sobre o equipamento de teste. Porém, nesse caso, é necessário aumentar o tempo de ensaio.

Nota-se que diversos aspectos devem ser observados ao longo da realização dos ensaios. Outro ponto que requer experiência da equipe de ensaio e conhecimento do equipamento utilizado é o respeito à capacidade do equipamento de teste, de forma a preservá-lo em boas condições de utilização ao longo de todo o comissionamento.

Ensaiar cabos ao longo de um dia inteiro de trabalho pode gerar aquecimen-