



Tolerância à umidade

OUTUBRO 2025 Página 1 de 2

Tolerância à umidade

O IsoTec SE 300 possui uma tolerância à umidade muito alta e, portanto, pode absorver significativamente mais água sem que suas propriedades dielétricas sejam afetadas – muito mais do que o óleo mineral ou o líquido de silicone. Além disso, o IsoTec SE 300 consegue reter a água, retardando assim o processo de envelhecimento da celulose. Em contraste, no óleo mineral existe o risco de que a água contida seja liberada como condensado.

Importância da tolerância à umidade em transformadores:

Rigidez dielétrica: diminui com o aumento do conteúdo de umidade

Velocidade de envelhecimento do papel: aumenta com o aumento da umidade

Formação de bolhas durante sobrecargas: as bolhas se formam a temperaturas mais baixas e quando a umidade do papel aumenta

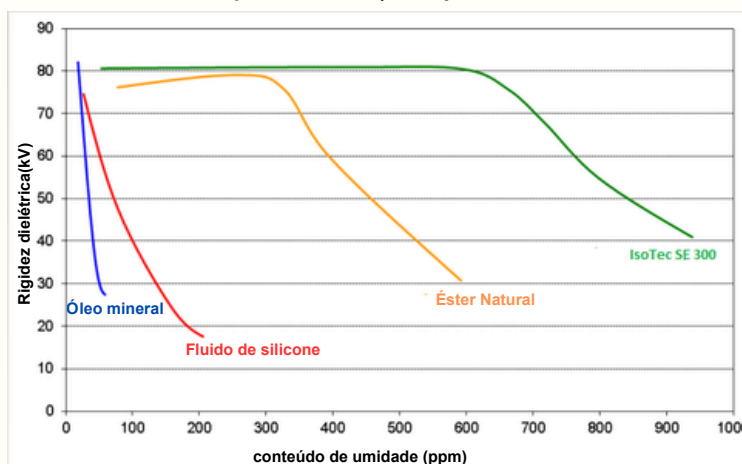
Condensação ao resfriar - : risco de liberação de água livre do óleo mineral

Rigidez dielétrica

A Fig. 1 mostra a rigidez dielétrica à temperatura ambiente do IsoTec SE 300, éster natural, óleo mineral e líquido de silicone em função do conteúdo de umidade. A figura evidencia que mesmo pequenas quantidades de água no óleo mineral e no líquido de silicone reduzem rapidamente a rigidez dielétrica. Em contraste, o IsoTec SE 300 apresenta alta tolerância à umidade: mesmo com mais de 600 ppm de água, a rigidez dielétrica permanece estável acima de 75 kV.

Fig.1 – Rigidez dielétrica e conteúdo de umidade a 20 °C

(IEC 60156 – 2,5 mm)



Envelhecimento do papel

O envelhecimento do papel está diretamente relacionado ao conteúdo de água. Diversos estudos mostram que a vida útil da celulose pode ser reduzida até dez vezes para cada 1 % adicional de água. À medida que o envelhecimento avança, a celulose libera água, acelerando ainda mais o processo. Portanto, é crucial manter a celulose o mais seca possível.

O IsoTec SE 300 pode absorver mais umidade do que o óleo mineral. Isso reduz a quantidade de água no papel, diminuindo assim a taxa de envelhecimento.

Com base em curvas de equilíbrio de umidade, pode-se demonstrar que, a 60 °C, um teor de água no IsoTec SE 300 corresponde a 1,1 % de água na celulose. O óleo mineral com 20 ppm de água, nas mesmas condições, resultaria em 2,6 % de água na celulose.

O 1,5 % adicional de umidade reduz a vida útil da celulose para pelo menos um décimo da vida útil normalmente esperada.

Formação de bolhas durante sobrecargas

As bolhas em líquidos dielétricos são eletricamente fracas e, portanto, indesejáveis. Segundo a IEC 60076-14, a temperatura à qual as bolhas se formam depende diretamente do teor de umidade da celulose.

Durante fases de sobrecarga, a temperatura dos condutores envoltos em papel aumenta, aumentando o risco de atingir temperaturas críticas para a formação de bolhas.

Com um teor de água no papel de 2,6 %, as bolhas aparecem a 130 °C, enquanto com 1,1 % de água, só surgem a 165 °C.

Como o IsoTec SE 300 mantém o papel mais seco, a margem de segurança durante sobrecargas é maior.

Tolerância à umidade

OUTUBRO 2025 Página 2 de 2

Tabela 1 - Normas para o conteúdo de umidade

Norma	Conteúdo de umidade
IEC 61099 – ésteres novos	max. 200ppm
IEC 61203 – ésteres em uso	max. 400ppm
IEC 60296 – óleos minerais novos	max. 30ppm
IEC 60422 –óleos minerais em uso*	max. 30ppm

Nota: O valor típico para o novo IsoTec SE 300 é 50 ppm

* Para instalações >72,5 kV ou <170 kV

Condensação durante o resfriamento

No óleo mineral, ao resfriar o transformador da temperatura de operação para a temperatura ambiente, pode ocorrer liberação de água. Isso ocorre porque o óleo mineral possui um limite baixo de saturação de umidade, que diminui ainda mais com a redução da temperatura. O IsoTec SE 300 apresenta um limite de saturação significativamente maior e, portanto, atinge o ponto de saturação apenas sob condições muito mais exigentes.

Exemplo de conteúdo de água no óleo mineral

Exemplo: Um transformador cheio de óleo mineral, com 1,5 % de água no papel e temperatura de operação de 90 °C, teria 65 ppm de água no óleo mineral. Após desligar o transformador, a água tende a permanecer no óleo mineral. No entanto, a 20 °C, o limite de saturação do óleo mineral é 55 ppm. Portanto, o óleo estaria saturado em 118 % e liberaria água livre no transformador. Ao mesmo tempo, a rigidez dielétrica do óleo mineral seria muito baixa, aumentando significativamente o risco de falha ao reiniciar.

Nas mesmas condições, o IsoTec SE 300 teria um teor de água de aproximadamente 700 ppm a 90 °C. O limite de saturação do IsoTec SE 300 a 20 °C é de 2700 ppm. Mesmo que toda a água permanecesse no IsoTec SE 300, o líquido estaria saturado apenas a 26 %. Portanto, não se formaria água livre e a rigidez dielétrica permaneceria muito alta.

Teste de conteúdo de umidade

As normas para o conteúdo de umidade de líquidos novos e em uso estão mostradas na Tabela 1. O IsoTec SE 300 é fabricado de acordo com padrões muito altos e apresenta um conteúdo típico de umidade de 50 ppm.

O IsoTec SE 300 permanece dentro da faixa de especificação até 400 ppm. Em contraste, o óleo mineral com pouco mais de 300 ppm já está fora da faixa de especificação. Isso afeta diretamente a avaliação do conteúdo de umidade. Em transformadores com sistema de monitoramento de umidade, os ajustes de tolerância devem ser adaptados de acordo.

Remoção de umidade

Se o conteúdo de umidade ultrapassar o valor máximo recomendado para operação, os mesmos procedimentos e equipamentos utilizados para desumidificar o óleo mineral também podem ser aplicados ao IsoTec SE 300. Exemplos incluem peneiras moleculares e filtros a vácuo.

Para mais informações sobre as vantagens do IsoTec SE 300 em termos de tolerância à umidade e prolongamento da vida útil dos equipamentos, entre em contato com a equipe técnica pelo info@isotec.bio