

COMPORTAMENTO DO RUÍDO DE TRANSFORMADORES A SECO ENCAPSULADOS DE 300kVA DA CLASSE 15kVA

MARCO ANTONIO FERREIRA FINOCCHIO¹, JEFERSON GONÇALVES FERREIRA² e LUIZ YAMASHITA BARBOSA³

¹ Professor Pesquisador LABMATEE/LABAT, UTFPR-CP, Cornélio Procópio-PR, mafinocchio@utfpr.edu.br;

² Mestrando em Engenharia Mecânica, PPGEM, UTFPR-CP, Cornélio Procópio-PR, gonalves_jeferson@outlook.com;

³ Engenheiro Eletricista, CEEP, Assaí-PR, luiz_yamashita_@hotmail.com;

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
15 a 17 de setembro de 2021

RESUMO: Este trabalho procura estudar as principais fontes geradoras de ruído nos transformadores a seco, os processos de ensaios dentro do laboratório do fabricante como estabelecidos pela NBR 7277/2013. Implementa um algoritmo para simular os níveis de ruído em transformadores considerando seus aspectos construtivos. Para verificar o comportamento do ruído diante da variação da indução magnética na chapa do núcleo. E validar a eficiência do algoritmo com os valores fornecidos pelo fabricante. Isto para atender os valores exigidos pela NBR 10295-11 e contemplar a melhoria de futuros equipamentos.

PALAVRAS-CHAVE: Transformadores a seco, Análise de ruídos, Fontes de ruído.

NOISE BEHAVIOR OF 300kVA CLASS 15kVA ENCAPSULATED DRY TRANSFORMERS

ABSTRACT: This work seeks to study the main sources of noise in dry transformers, the testing processes within the manufacturer's laboratory as established by NBR 7277/2013. Implements an algorithm to simulate noise levels in transformers considering their constructive aspects. To check the noise behavior in the face of the variation of magnetic induction in the core plate. And validate the efficiency of the algorithm with the values provided by the manufacturer. This to meet the values required by NBR 10295-11 and to contemplate the improvement of future equipment.

KEYWORDS: Dry transformers, Noise analysis, Noise sources.

INTRODUÇÃO

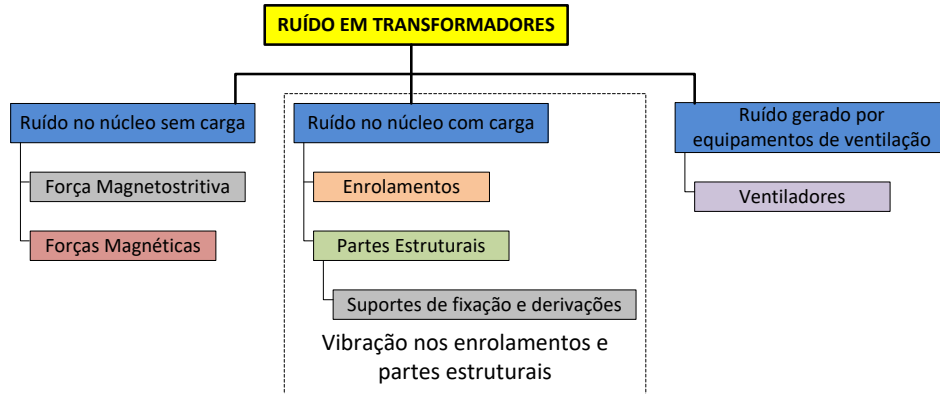
Um transformador é um dispositivo que converte, por meio da ação de um campo magnético, a energia elétrica CA de uma dada frequência e nível de tensão em energia elétrica CA de mesma frequência, mas com outro nível de tensão. Constituído de duas ou mais bobinas de fio enroladas em torno de um núcleo ferromagnético comum. A única conexão entre as bobinas é o fluxo magnético comum presente dentro do núcleo (Chapman, 2012).

A partir da década de sessenta o ruído gerado por transformadores deixa de ter importância secundária e começa a se tornar um tipo de poluição sonora ambiental, onde os níveis excessivos de ruído estão incluídos entre os sujeitos ao Controle da Poluição de Meio Ambiente, estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

O ruído emitido por transformadores é gerado pelo fenômeno da magnetostricção, que ocorre quando um corpo metálico é colocado em um campo magnético. Os dipolos magnéticos do metal se orientam buscando o alinhamento com o campo magnético externo, resultando em expansão do material. Apesar de haver histerese, quando o campo magnético é anulado o material retorna à sua forma original. Como o transformador é excitado por corrente alternada, a cada meio ciclo de onda seu núcleo se expande e se comprime, fazendo o transformador vibrar com o dobro da frequência da rede elétrica (60Hz), a vibração e, conseqüentemente, o ruído terá frequência fundamental de 120Hz

(Masiero, 2007). Existem basicamente três fontes de geração de ruído em um transformador a seco, como pode ser observado na Figura 1.

Figura 1. Fontes de ruído em transformadores a seco.



O ruído acústico produzido pelo transformador caracteriza-se por um “hum”, consequente de vibrações provocadas, nomeadamente, pelo efeito de diversos fenômenos magnéticos nas peças ferromagnéticas que o compõem (Jorge, 2015).

Como a emissão contínua de ruído de um transformador prejudica a qualidade de vida de quem vive e trabalha em seu redor, o ruído tem-se revelado ser uma condição cada vez mais requisitada e complexa no projeto destas máquinas.

MATERIAL E MÉTODOS

Os aços elétricos são materiais magneticamente macios utilizados em inúmeras aplicações em equipamentos no setor de energia elétrica. Estes aços não conduzem corrente elétrica, mas o fluxo magnético no interior do material. Os materiais magnéticos moles mais utilizados nos núcleos de máquinas elétricas são os aços elétricos (Moses, 1990). Estes materiais dividem-se em três grupos de aços: com baixo teor de carbono, de grão não orientado (GNO) e de grão orientado (GO), sendo os dois últimos conhecidos como aços siliciosos. A qualidade das propriedades magnéticas e o custo aumentam pela ordem indicada.

A descoberta dos aços de grão orientado (GO), com a introdução da orientação de grãos foi uma inovação na fabricação de aços para núcleos, pois sua estrutura cristalina possui uma direção preferencial de magnetização, potencializando a utilização em núcleos de transformadores.

As fontes de ruído em transformadores elétricos estão bem identificadas, sendo a principal a magnetostricção. Este fenômeno consiste na alteração das dimensões de materiais ferromagnéticos quando excitados por campos magnéticos, o que ocorre com os circuitos magnéticos das máquinas elétricas (Jorge, 2015).

Desde os anos 90, transformadores tipo seco em resina epóxi vêm substituindo os transformadores a óleo isolante, em muitas instalações industriais e comerciais. Atualmente esse tipo de transformador, reúne todas as vantagens para distribuição de energia elétrica, de forma mais econômica, segura, confiável e ecológica, embora o mais utilizado seja o a óleo. Em (Finocchio, et al, 2020) os autores fazem uma comparação, mais detalhada entre transformadores óleo e a seco.

Os transformadores a seco encapsulados possuem maior robustez mecânica, excelente resistência ao envelhecimento térmico, menor nível de descargas parciais internas, menos ruídos e a possibilidade de instalação mais próxima ao ponto de carga diminuindo assim as perdas com os cabos de alimentação. Porém, este tipo de transformador possui um custo mais elevado que os transformadores a óleo.

Testes comparativos mostram que nos transformadores a seco de até 1000kVA, o nível de ruído é de 10 a 12dB menor do que os transformadores a óleo da mesma potência (Petrovic; Lukic; Kolarevic; Lukic, 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A norma NBR7277/2013 prescreve os métodos de determinação dos níveis de ruídos audível de transformadores, de modo a confirmar o atendimento dos requisitos das especificações e determinar as características de ruído emitido em funcionamento. Os níveis de ruído do equipamento e do ambiente devem ser determinados como níveis de pressão acústica em dB(A).

As medições devem estar em conformidade com a IEC651, e observar a distância mínima entre o observador e o microfone, para evitar erros devido a reflexões.

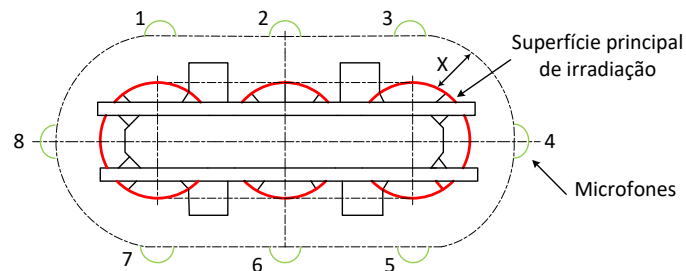
Para medição do nível de ruído, o equipamento a ensaiar deve estar com seus equipamentos auxiliares normais, porque podem influenciar o resultado da medição. Assim, o transformador é excitado em vazio com tensão nominal, de forma senoidal e frequência nominal, estando o comutador, se existir ligado na derivação principal.

No caso dos transformadores a seco a superfície principal de irradiação é obtida pela projeção vertical da linha de contorno, conforme especificado na Figura 9. A linha de contorno, deve estar afastada 0,3m da superfície principal de irradiação, onde são posicionados os microfones de captação do ruído, dispostas a intervalos iguais e não superiores a 1m como na Figura 9. Por segurança a distância entre a superfície principal de irradiação e a linha de contorno deve ser no máximo 1m.

Não é aconselhável fazer medições de ruído em grandes transformadores nos primeiros minutos subsequentes a sua energização, quando esta for efetuada instantaneamente, pois é comum encontrar um valor de pico inicial de corrente várias vezes superior ao da corrente nominal do transformador, podendo interferir nos resultados finais do estudo. O valor máximo varia em média de 4 a 20 vezes a corrente nominal e com tempo de duração em torno de 0,1s.

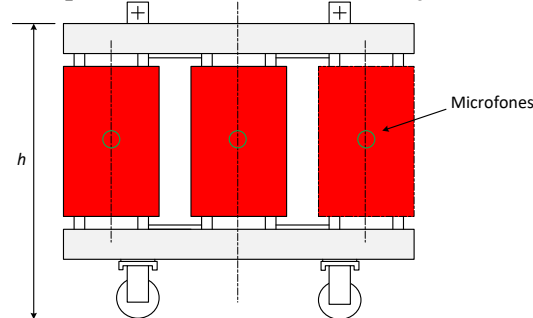
A Figura 2 apresenta os pontos de medição realizados no ensaio, em vista superior do transformador a seco, neste estudo as medições foram realizadas a 1 metro da superfície principal de irradiação, ou seja, $x = 1\text{m}$ (NBR 7277).

Figura 2. Posições típicas dos microfones para a medição de ruído em transformadores.



A Figura 3 apresenta os pontos de medição do ensaio, em vista frontal do transformador, sendo h a altura do núcleo incluindo partes estruturais.

Figura 3. Vista frontal das posições típicas dos microfones na medição de ruído.

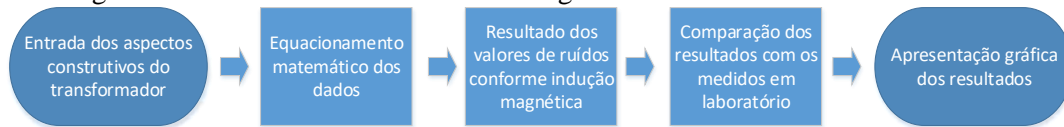


As simulações foram realizadas em 60 transformadores a seco, da classe de potência de 300kVA/15kV trifásicos. Sendo 30 de cada fabricante.

As simulações foram realizadas com a implementação de um algoritmo via MATLAB, conforme o diagrama de bloco da Figura 4. Utilizou-se como valores de entrada os aspectos construtivos dos transformadores, como: indução da chapa do núcleo [T], distância entre os eixos do núcleo [mm], área de referência [m²], área da superfície de medição [m²], altura do tanque [m],

comprimento da linha prescrita de contorno [m]. Sendo estes valores fornecidos pelos fabricantes A e B.

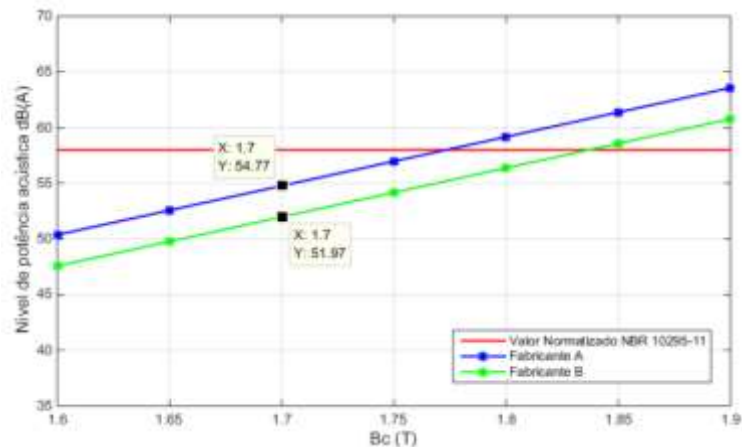
Figura 4. Diagrama de bloco do funcionamento do algoritmo



Nas simulações variou-se a indução magnética das chapas num intervalo de 1,6 a 1,9T para verificar o comportamento do ruído do transformador a seco, e se os mesmos vão estar dentro dos valores normalizados pela NBR 10295-11.

A Figura 5 apresenta a simulação do transformador de 300kVA, dos fabricantes A e B, utilizando seus aspectos construtivos e variando a indução magnética das chapas do núcleo do transformador. Os dois fabricantes, utilizam chapa de aço silício de grão orientado com uma indução magnética de 1,7T.

Figura 5. Nível de potência acústica emitida pelo transformador de 300kVA



Como observado na Figura 12 o fabricante A apresentou um nível de ruído de 54,77dB(A) e o fabricante B 51,97dB(A). Assim, percebe-se uma diferença de 2,80dB(A) ou seja 5,39% entre os fabricantes, sendo o segundo com um nível de ruído menor, para o transformador de 300kVA. Portanto, os dois fabricantes apresentaram um valor de ruído abaixo do exigido pela NBR 10295-11.

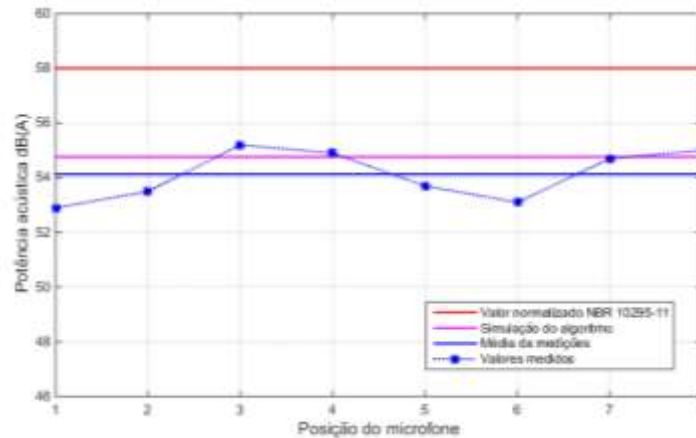
Para o transformador de 300kVA, a Tabela 1, contém os valores medidos por cada um dos microfones no ensaio e o cálculo do valor médio da das oito medições.

Tabela 1: Valores de ruído medido para o transformador de 300kVA

Posição	Ambiente mais Transformador dB(A)
1	52,90
2	53,50
3	55,20
4	54,90
5	53,70
6	53,10
7	54,70
8	55,00
Média	54,13

A Figura 6 apresenta o valor normalizado pela NBR 10295-11, o simulado pelo algoritmo, a média das medições realizadas pelo fabricante e os valores de ruído para cada um dos 8 pontos de medição, para o transformador de 300kVA.

Figura 6. Ruído simulado, medido e normalizado, para o transformador de 300kVA



Como apresentado na Figura 6 o valor simulado foi de 54,76dB(A) e o valor médio das medições 54,13dB(A) apresentando uma diferença de 0,64dB(A), sendo uma diferença de 0,64% entre o valor simulado e o real. Para o transformador de 300kVA, o algoritmo também atendeu as expectativas, com resultados próximos dos valores de ruído reais e atendeu as exigências prescritas na NBR 10295-11.

CONCLUSÃO

Os transformadores a seco possuem menores dimensões sendo indicados para instalações internas que exigem segurança e confiabilidade, de baixa manutenção e agressão ao ambiente.

Foram apresentadas as principais causas geradoras de ruído em transformadores a seco, e suas principais normatizações e aspectos construtivos. Assim, como um estudo de ruídos, e procedimentos de medição e ensaio, que são importantes para compreensão das simulações e resultados.

Levantou-se o comportamento do nível de ruído com a variação de indução da chapa do núcleo do transformador. Observando que quanto maior a indução da chapa do núcleo maior será o ruído apresentado pelo transformador a seco.

O algoritmo proposto utilizou-se dos aspectos construtivos dos transformadores, como: indução da chapa do núcleo [T], distância entre os eixos do núcleo [mm], área de referência [m²], área da superfície de medição [m²], altura do tanque [m], comprimento da linha prescrita de contorno [m], todos valores reais e fornecidos pelos fabricantes. Com todos os dados realizou-se a comparação entre os valores simulados, medidos e normalizados, o que possibilitou verificar que todos transformadores avaliados, apresentaram valores dentro dos exigidos pela NBR10295-11, conforme os gráficos apresentados.

REFERÊNCIAS

- Chapman, Stephen J. **Electric Machinery Fundamentals**. 5ª ed. Nova York: McGraw-Hill, 2012.
- Finocchio, Marco Antonio Ferreira; Mendonça, Márcio; Antunes, Lucas de Oliveira; Ferreira, Jeferson Gonçalves. **Comparação entre transformadores à óleo e à seco**. Capítulo 13, DOI 10.22533/at.ed.32520170114. A aplicação do conhecimento científico na engenharia elétrica. Atena Editora: Ponta Grossa, 2020.
- Jorge, Pedro M. B. S., **Estudo sobre o ruído originado pela magnetostricção em transformadores de potência**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 2015.
- Masiero, Bruno S. **Controle Ativo de Ruído para Transformadores de Potência em Campo**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.
- Moses, A. J. **Electrical steels: past, present and future developments**. IEE Proceedings A (Physical Science, Measurement and Instrumentation, Management and Education), Volume 137, Issue 5, 1990.
- Petrovic, A.; Lukic, L.; Kolarevic, M.; Lukic, D. **Noise measurements of the power transformers**. 23rd National Conference & 4th International Conference Noise and vibration, 2012.