

Algoritmo iterativo para obtenção do modelo elétrico da impedância do transformador baseado em células RLC passivas.

RODRIGO CASANOVA DOS SANTOS WREGE¹; LUIS OTAVIO GRILLO²;
ROGÉRIO COELHO GUIMARÃES³

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-Rio-Grandense – rodrigowrege@gmail.com

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-Rio-Grandense –
luisotavio.grillo@gmail.com

³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-Rio-Grandense – rcgifsul@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Transformadores de potência apresentam um papel fundamental em sistemas elétricos. Portanto, analisar a condição de funcionamento deste componente é de grande importância. Neste sentido, segundo GARCÍA (2012), a modelagem de um transformador como ferramenta de análise constitui uma das formas mais efetivas para a obtenção de um diagnóstico conciso e objetivo.

O método de Análise da Resposta em Frequência (FRA) da impedância do transformador permite identificar mudanças ocorridas neste equipamento através da resposta em frequência. Porém, um dos grandes desafios é interpretar os resultados do ensaio FRA a fim de verificar defeitos e futuras degradações no equipamento.

Este trabalho objetiva aprimorar o algoritmo computacional apresentado em GUIMARÃES (2010) e que serviu de base para esta pesquisa. O algoritmo desenvolvido tem como objetivo a obtenção do modelo elétrico que representa a característica da resposta em frequência do transformador através de células RLC passivas com o propósito de armazenagem de dados e realização de simulações.

2. METODOLOGIA

As células RLC que formam o modelo elétrico do transformador são obtidas através de um algoritmo desenvolvido no software Matlab. Em relação ao algoritmo apresentado em GUIMARÃES (2010), diferentes métodos computacionais foram aplicados para a determinação de picos e para a localização dos pontos de frequência de corte de cada célula. Além disso, se desenvolveu um método iterativo para o cálculo dos parâmetros RLC de forma a se diminuir as influências de células vizinhas como observado e relatado em GUIMARÃES (2010).

Pode-se resumir o funcionamento do algoritmo deste trabalho nas seguintes etapas:

- o algoritmo identifica os pontos de máximo e de mínimo dos dados de ensaios reais de resposta em frequência salvos em um arquivo com extensão '.mat'. Com estes pontos é possível dimensionar a largura de banda de cada célula RLC bem como o número de células para o modelo, como exposto em PLEITE (2002);

- em seguida, são calculados os parâmetros de resistência (R), capacitância (C) e indutância (L) das células através dos picos e de pontos de frequências de corte obtidos no ensaio de resposta em frequência, com base na teoria exposta em GUIMARÃES (2010);

- estima-se o erro médio obtido no modelo calculado em relação à amostra original;
- este erro é realimentado em uma curva de impedância auxiliar e os parâmetros das células RLC são calculados novamente. Os erros e os parâmetros RLC obtidos em cada iteração são salvos em cell arrays;
- esse processo se repete por um número determinado de iterações;
- o algoritmo então identifica em qual iteração ocorreu o menor erro e expõe os parâmetros do modelo no qual o resultado foi mais preciso bem como as curvas obtidas com este modelo;
- por fim, as células RLC são armazenadas em um arquivo com extensão '.mat'.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os aprimoramentos realizados no algoritmo até o momento se refletiram em resultados mais precisos se comparado ao apresentado em GUIMARÃES (2010). Para comprovar os resultados serão analisados ensaios obtidos de um autotransformador monofásico de 100 MVA – 500 kV / 230 kV / 13,8 kV.

Como observado no ensaio apresentado nas Figuras 1 e 2, realizado em abril de 2008 no enrolamento Y1-Y2 (13,8 kV), pode-se notar uma diminuição da influência de células RLC vizinhas no modelo do presente trabalho:

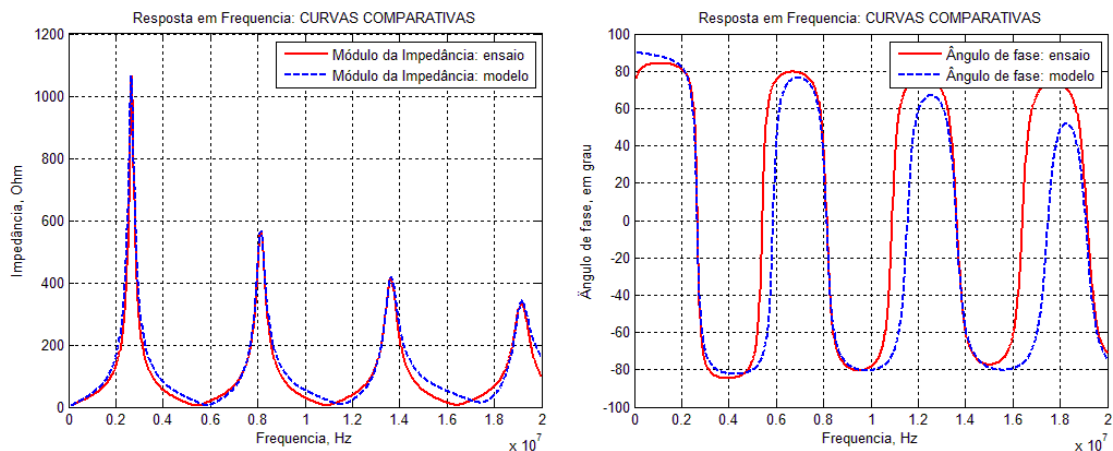


Figura 1 - Modelo obtido no algoritmo de GUIMARÃES (2010)

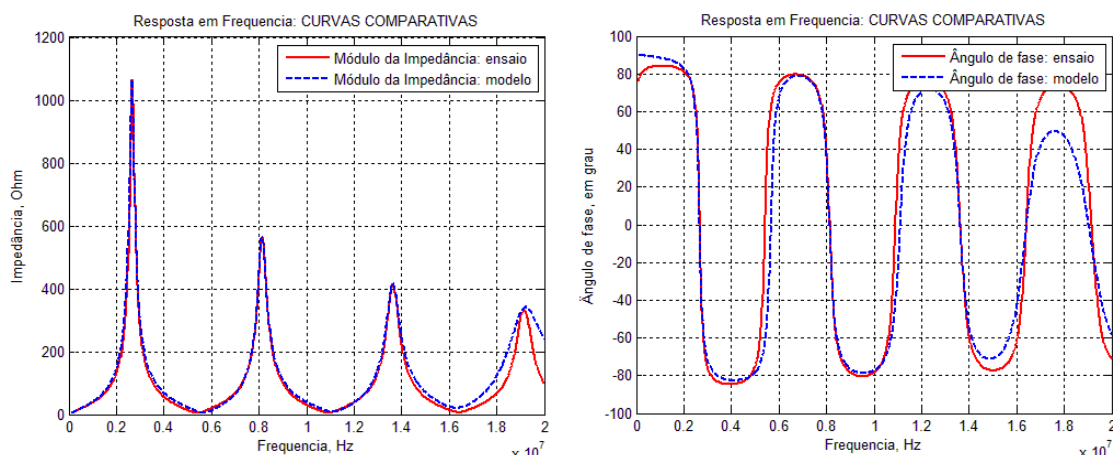


Figura 2 - Modelo do algoritmo atual obtido em 9 iterações

Nota-se que no modelo apresentado na Figura 1, o erro (principalmente na fase) aumenta de uma célula para outra. Como discutido em GUIMARÃES (2010) isso ocorre devido à influência de células RLC vizinhas.

No algoritmo desenvolvido neste trabalho, se observa uma diminuição na propagação deste erro, como constatado na Figura 2. Nesta figura também nota-se que o modelo gera uma representação mais correta do ensaio até a frequência próxima a 15 MHz (apresentando distorção no último pico).

Porém, distorções de altas frequências em modelos de transformadores também foram reportadas em GARCÍA (2012). Além disso, como relatado em NASCIMENTO (2009), deve se considerar o fato de que em frequências de dezenas de Megahertz há interferências do próprio instrumento de medição e do arranjo dos testes.

No ensaio mostrado nas Figuras 3 e 4, realizado em abril de 2008 no enrolamento H0-H1 (500 kV), nota-se que o aprimoramento no modo em que o algoritmo identifica os pontos de frequência de corte possibilitou a formação de mais células RLC para o modelo.

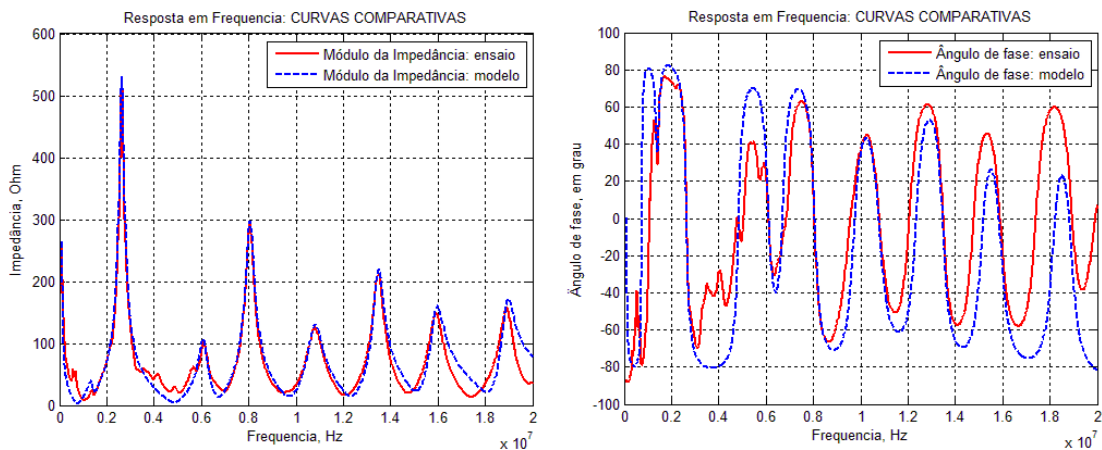


Figura 3 – Modelo obtido no algoritmo de GUIMARÃES (2010)

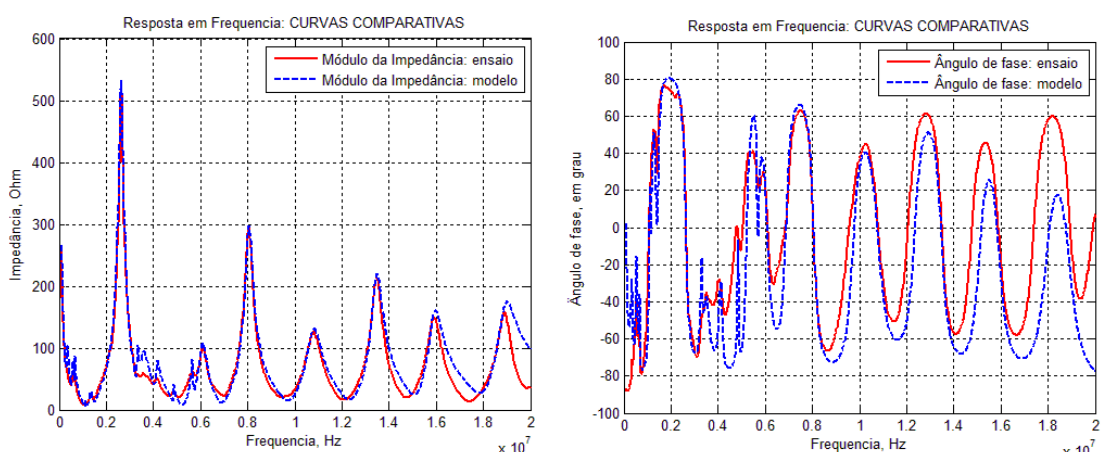


Figura 4 - Modelo do algoritmo atual obtido em 2 iterações

Nota-se que no algoritmo inicial (Figura 3) eram identificados nove picos (e portanto formadas nove células RLC). Com as mudanças, o algoritmo passa a identificar os 19 picos bem como formar as 19 células RLC como exibido na Figura 4.

Neste caso, observa-se que o aumento do número de células também cria mais interferências de células vizinhas no modelo final. Ainda, como ocorrido e já discutido no caso anterior, pode-se observar que distorções em altas frequências também estão presentes.

Por se tratar de resultados parciais, espera-se que se implemente no algoritmo a identificação de qual faixa de frequência o modelo representa o ensaio real com erros toleráveis. Isso possibilitará um melhor uso dos dados obtidos pelo modelo na interpretação de futuras simulações. Além disso ainda se buscará descartar picos que não apresentem pontos de frequências de corte definidos.

4. CONCLUSÕES

Ao aplicar dados reais de ensaios de resposta em frequência da impedância do transformador no algoritmo foi possível verificar uma maior precisão dos resultados se comparado ao modelo inicial da pesquisa apresentado em GUIMARÃES (2010). Portanto, as melhoras obtidas até o momento trouxeram resultados positivos ampliando assim o uso deste modelo em uma vasta área de pesquisa de resposta em frequência de transformadores.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GARCÍA, C. G. **Procedimiento de Modelado basado en el Análisis de la Respuesta en Frecuencia y aplicación en Transformadores Trifásicos de Potencia para su Caracterización y Diagnóstico**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Departamento De Tecnología Electrónica, Universidad Carlos III De Madrid.

GUIMARÃES, R. C. **Modelo Elétrico da Impedância do Transformador Baseado em Células RLC Passivas**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFRGS, MINTER UFRGS/IFSul.

NASCIMENTO, R. J.; BATISTELA, N. J.; KUO-PENG, P.; CARPES, W. P.; JANUÁRIO M.; RIGONI, M.; SPREDEMAN, R.; SANDOS, T. L.; SOARES, A. K.; RESMINI, F. N.; FURLAN, A. G. L. Estudo e Modelagem de Transformadores. **Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (CITENEL)**, Belém, 2009.

PLEITE, J.; OLÍAS, E.; BARRADO, A.; LÁZARO, A.; VÁZQUEZ, J. Modeling the transformer frequency response to develop advanced maintenance techniques. **Power Systems Computation Conference (PSCC)**, Sevilla, v.1, n.14, p. 450 – 456, 2002.