



PRPG | Pró-Reitoria de Pós-Graduação
PIBIC/CNPq/UFPG-2009

OPERAÇÃO DE TRANSFORMADORES EM REGIME DE SOBREENCITAÇÃO

Fábio Diego da Silva Brito¹, Francisco das Chagas Fernandes Guerra²

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo determinar as características magnéticas do núcleo de um transformador monofásico, bem como determinar suas perdas, os laços de histerese para diferentes níveis de excitação e a apresentação espectral da forma de corrente e de tensão. Para tal iniciou-se pelo estudo teórico dessas propriedades e também dos ensaios a serem realizados. Desta forma utilizou-se um sistema projetado e desenvolvido no laboratório em questão, sendo satisfatórios os resultados alcançados.

Palavras-chave: Histerese, Transformador Monofásico, Sobreexcitação

TRANSFORMERS IN THE OPERATION OF SOBREENCITAÇÃO

ABSTRACT

This work had the objective of determining the characteristics of a magnetic core of a single processor, and determine their losses, the bonds of hysteresis for different levels of excitation and spectral presentation of how current and voltage. For this there was the theoretical study of these properties and the tests to be performed. Thus utilized is a system designed and developed in the laboratory in question, and the results satisfactory.

Keywords: Hysteresis, Single Phase Transformer, Sobreexcitação

INTRODUÇÃO

Quando a intensidade de campo em um núcleo de material magnético é variada de modo lento em uma ampla faixa de valores, o resultado é a ocorrência dos fenômenos de saturação e de histerese, ocasionando este último perda de energia. Tais fenômenos conferem ao material a propriedade de não-linearidade. Em corrente alternada, à medida que a frequência aumenta, há o surgimento de correntes parasitas (correntes de Foucault), que são classicamente calculadas supondo-se homogeneidade do material e uniformidade do fluxo na seção reta do núcleo. Porém, é constatado que as perdas magnéticas totais medidas são significativamente maiores que a soma das perdas histeréticas e das perdas parasíticas clássicas. A parcela em excesso recebe a denominação de “perdas anômalas”.

O transformador é um equipamento que tem como princípio de operação o efeito de indução mútua entre duas bobinas enroladas em torno de um núcleo de material magnético de elevada permeabilidade. Tal núcleo tem por finalidade fazer com que o fluxo magnético produzido no enrolamento primário (ligado à fonte de energia) seja compartilhado ao máximo com o enrolamento secundário (ligado à carga). Assim, é estabelecido um processo de transferência de energia entre dois circuitos eletricamente isolados mediante o estabelecimento de um campo magnético, os quais operam com diferentes valores de tensão e de corrente.

¹ Aluno do Curso de Engenharia Elétrica, Depto. de Engenharia Elétrica, UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: fabiodiego_brito@hotmail.com

² Engenheiro Eletricista, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Elétrica, UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: chagas@dee.ufcg.edu.br

O estudo do funcionamento de transformadores em regime de sobre-excitação nos regimes permanente e transitório é fundamental para a melhoria nos critérios de aplicação dos materiais magnéticos, bem como, no projeto, modelagem e formas de operação de equipamentos. São feitas considerações acerca do efeito das harmônicas de tensão e de corrente, e demais efeitos que afetam o funcionamento das redes elétricas, comprometendo os requisitos relacionados à qualidade de energia e à eficiência energética.

A medição em laboratório dos parâmetros que constam no modelo linear de transformador monofásico (resistências e reatâncias de dispersão dos enrolamentos, resistência de perdas e reatância de magnetização do núcleo). Também são descritos os métodos de determinação das polaridades dos enrolamentos e das curvas de saturação e de histerese.

São considerados métodos de ensaio estabelecidos pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT [1], bem como técnicas modernas de medição baseadas em sistemas de aquisição de dados e microcomputadores, com utilização do programa LabView.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Materiais e Dispositivos Magnéticos – LMCM do Departamento de Engenharia Elétrica no Centro de Engenharia Elétrica e Informática da Universidade Federal de Campina Grande – PB.

Material

Para levantar as características magnéticas dos materiais, utilizamos um alto transformador, um transformador monofásico para ensaiar as características magnéticas, dois módulos de condicionamento de sinal, um sistema de isolamento elétrico e um sistema de aquisição de dados

Características dos Equipamentos

Características do Núcleo

Utilizou-se um transformador monofásico (Fig. 01) cuja relação entre entrada e saída era de 127/220, sua massa é de 8,6 kg, área da seção reta $15,2 \text{ cm}^2$, comprimento médio da trajetória 73,8 cm, espessura das Lâminas 0,35 mm e fator de empilhamento 0,95.



Fig. 01 Transformador Monofásico

Módulos de Condicionamento

Utilizaram-se dois módulos de condicionamento de sinais. O módulo 01, que é um módulo para tensão e o módulo 02, que é um módulo pra corrente.

Para o módulo 01, temos o diagrama da Fig.02, onde temos duas opções de funcionamento, a primeira utiliza um divisor resistivo e a segunda um integrador.

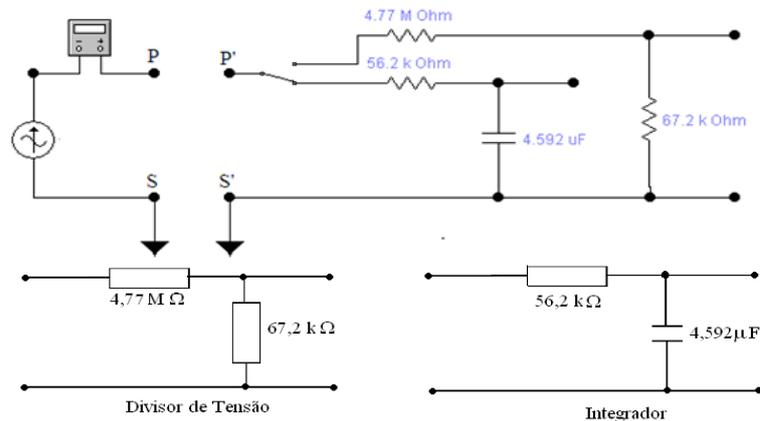


Fig. 02 Módulo de condicionamento de tensão

O módulo apresenta duas condições de funcionamento, a condição como divisor resistivo cuja constante é de $G_v = 73,91$ e a condição de integrador cuja constante é de $G_v = 54,566$.

O módulo 02 utiliza um sensor de corrente, cujo princípio de funcionamento baseia-se em gerar uma tensão de saída proporcional a corrente de entrada. A Fig. 03 ilustra o diagrama elétricos do sensor de corrente, onde a constante é de $I_v = 1,991$.

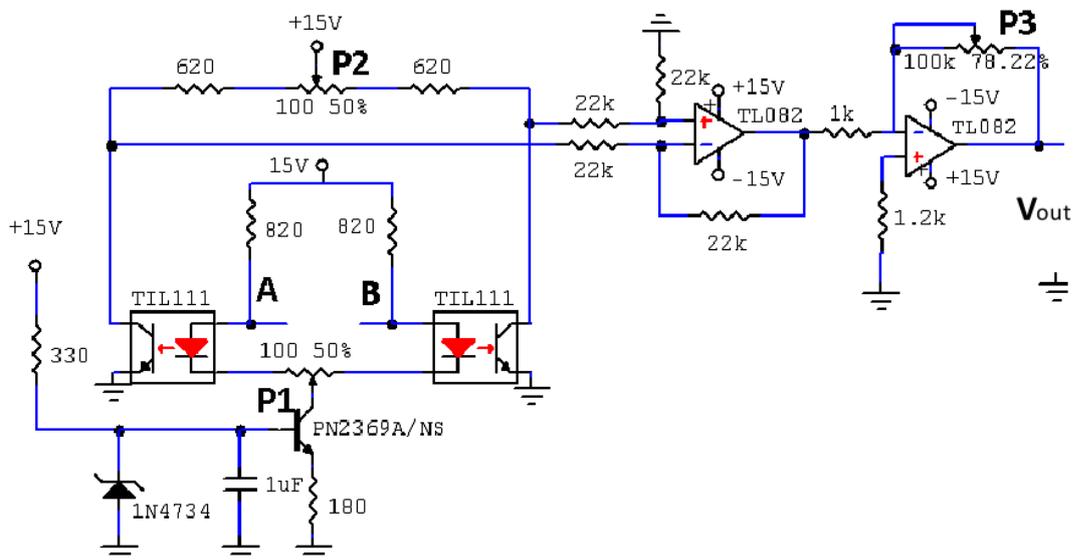


Fig. 03 Sensor de Corrente

Sistema de isolamento elétrico

O módulo de sistema de isolamento elétrico, foi projetado para aumentar a impedância de entrada da placa de aquisição, que é da ordem de $9,6 \text{ k } \Omega$, passando a ser da ordem de centenas de $\text{M } \Omega$, deste modo, não interferindo nos resultados encontrados. A Fig 04 ilustra os buffers utilizados na entrada de tensão e de corrente do sistema.

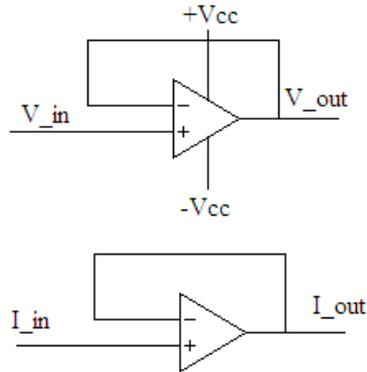


Fig. 04 Módulo de isolamento elétrico

Sistema de Aquisição de Dados

O sistema de aquisição de dados foi desenvolvido no âmbito do laboratório e utiliza uma placa de aquisição de dados de 16 bits e taxa de amostragem de 100k Hz desenvolvido em ambiente Matlab intitulado Matlabscope (Fig. 05, Fig. 06 e Fig. 07).

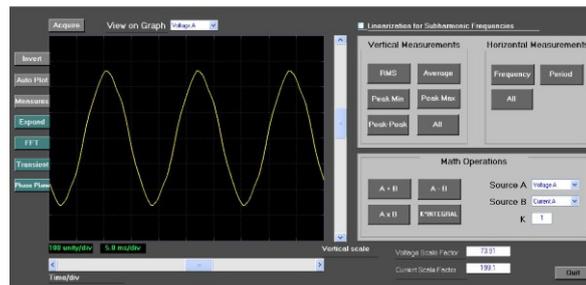


Fig. 05 Matlabscope tela inicial função osciloscópio

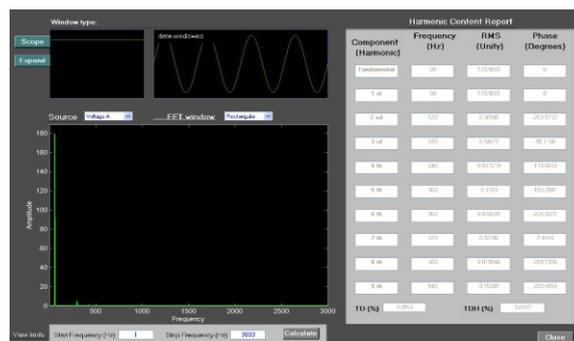


Fig. 06 Matlabscope função Analizador de espectro

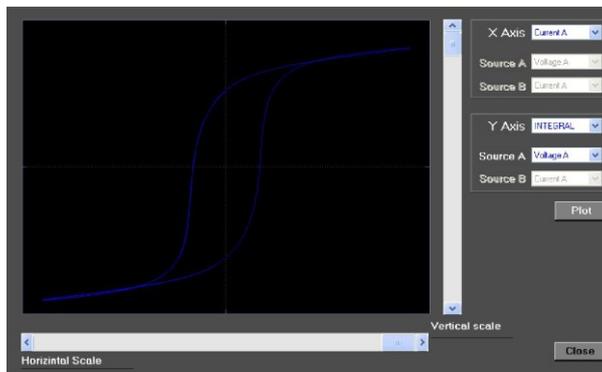


Fig. 07 Matlabscope função Histerese

Sistema e Procedimentos

Inicialmente foi montado um sistema para medir as características magnéticas que é representado na Fig. 08 em diagramas de blocos. Esse sistema se fez necessário pela limitação do nível de tensão na entrada da placa de aquisição de dados.

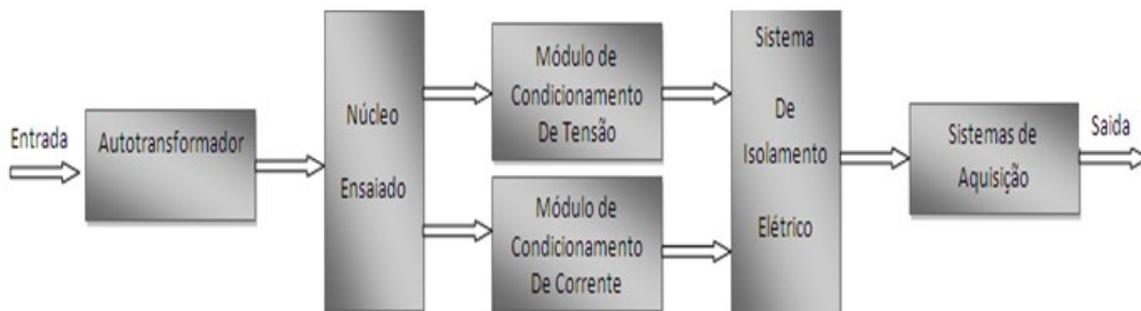


Fig. 08 Diagrama de blocos das medidas de grandezas magnéticas

Foi excitado o núcleo de um transformador a níveis de tensão de 80% a 120% da tensão nominal, por isso se fez necessário a utilização de um alto transformador na entrada do sistema. A partir do núcleo, utilizaram-se módulos de condicionamento de sinais para trazer os sinais de tensão e corrente a níveis aceitáveis, em função da necessidade de uma conexão segura entre os módulos de condicionamento e o sistema de aquisição foi colocado um sistema de isolamento e casamento de impedância utilizando buffers. O sistema físico é representado na Fig. 09.

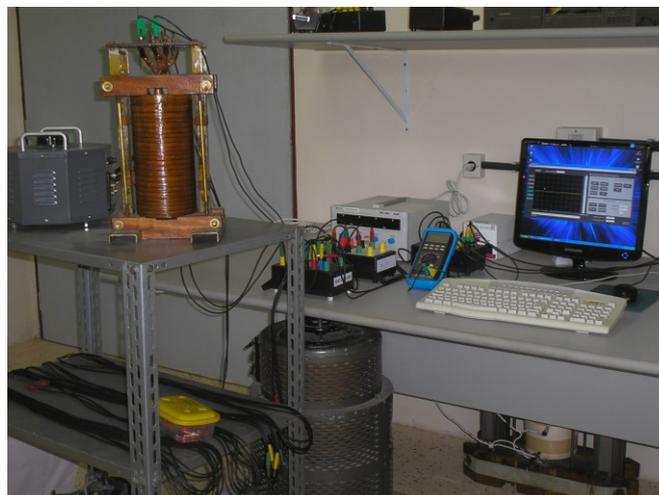


Fig. 09 Sistema de medidas de grandezas magnéticas

Resultados

O trabalho iniciou-se com o levantamento da curva de saturação utilizando valores rms e valores de pico, os gráficos abaixo trazem os respectivos resultados medidos. A Fig. 10 ilustra o gráfico da curva de saturação para valores de pico de fluxo versus Corrente de pico. A Fig. 11 apresenta a curva de saturação para valores rms.

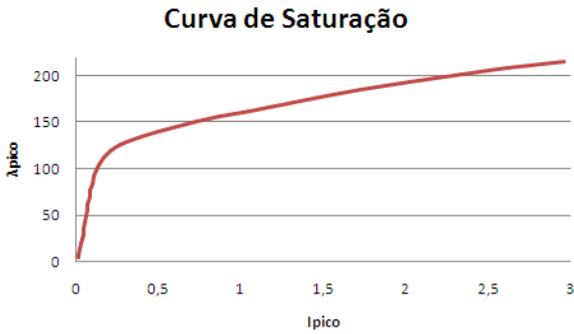


Fig. 10 Curva de saturação para valores de pico

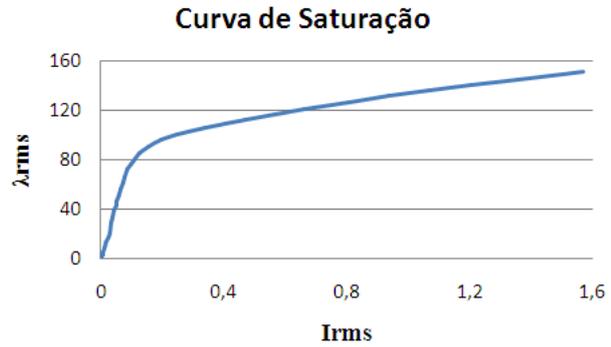


Fig. 11 Curva de saturação para valores RMS.

Para os diferentes níveis de excitação do núcleo, temos a curva de perdas (W) e perdas (W/kg). A Fig. 12 ilustra as perdas através do núcleo em W, na Fig. 13 são mostradas as perdas em W/kg, sendo da ordem de 4 W/kg a 120 % da tensão nominal e em torno de 2,3 W/kg para tensão nominal.

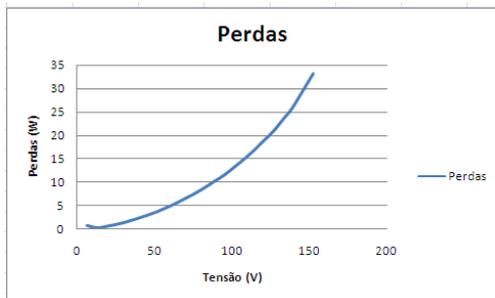


Fig. 12 Perdas no núcleo em W

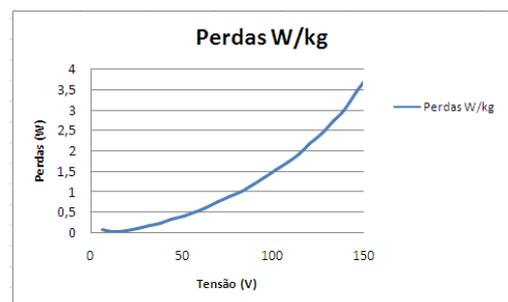


Fig. 13 Perdas no núcleo em W/kg

Fez-se a análise espectral da corrente, onde se analisou a THD. A Fig. 14 apresenta os espectros de corrente entre 80 e 120% da tensão nominal, apresentando - se os seguintes resultados:

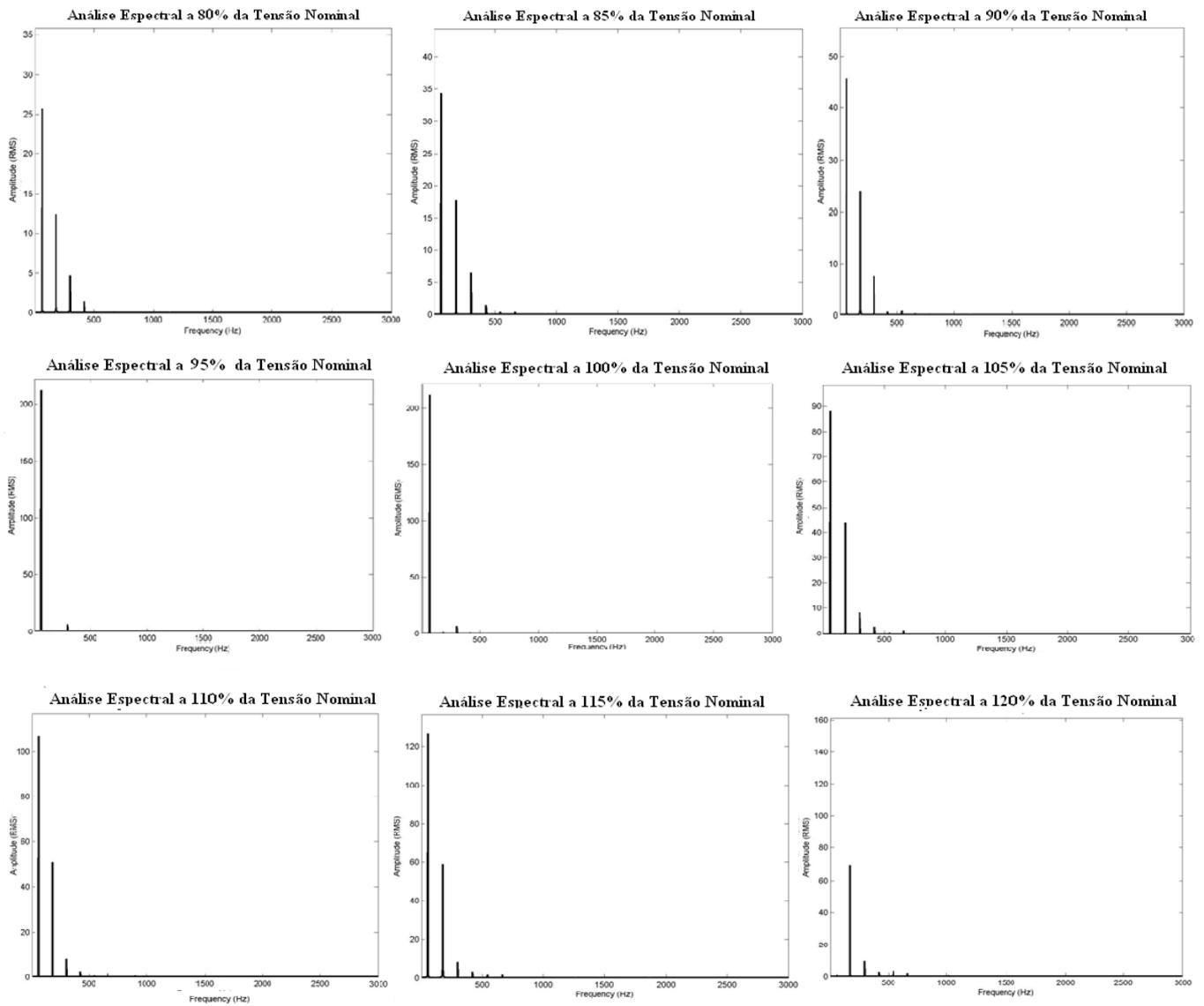


Fig. 14 Análise espectral de Corrente

À medida que aumenta o nível de saturação do núcleo, aumenta a distorção da forma de onda da corrente, conforme pode ser visto na Fig. 15 que ilustra a THD da corrente versus Tensão.

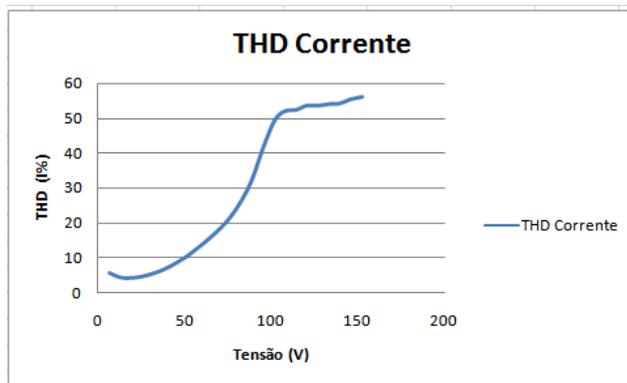


Fig. 15 que ilustra a THD da corrente versus Tensão

Foi feito o levantamento da histerese para diferentes níveis de excitação, à medida que era elevado o nível de saturação do núcleo, o laço de histerese aumentava. Na Fig. 16 é apresentada a curva de Histerese a 100% da tensão nominal.

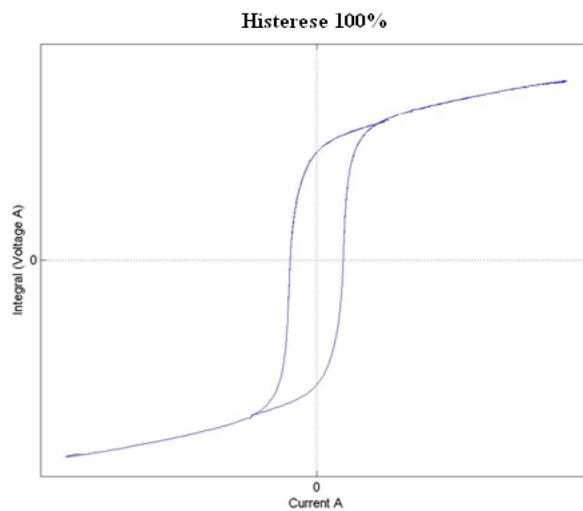


Fig. 16 Histerese a 100% da tensão nominal

A tensão da rede apresentou imperfeições na sua forma de onda, já a 80% da tensão nominal de operação. Na Fig. 17 é apresentada a forma de onda da tensão para este caso.

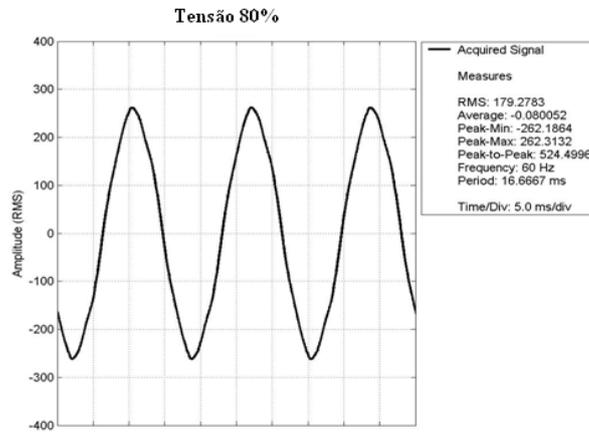


Fig. 17 Forma de onda da tensão a 80%.

CONCLUSÃO

Os núcleos de transformadores apresentam características não lineares, assim, fez-se um estudo das características magnética do núcleo. Foi observada que a corrente de magnetização altera sua forma de onda à medida que se aumenta o grau de excitação do transformador, a partir daí tem-se uma correlação entre excitação e perdas.

Analisando a histerese, observou-se que à medida que é aumentado o nível de excitação do núcleo a área no interior do laço de histerese aumenta, o que era de se esperar, pois as perdas são calculadas através dessa área.

De uma medida geral, os resultados foram amplamente satisfatórios, visto que toda a teoria foi comprovada na prática.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1993). NBR 5380 - **Transformador de Potência – Método de Ensaio**.
- Bertotti, G. (1988). General **Properties of Power Losses in Soft Ferromagnetic Materials**, IEEE Trans. Magnetics, 24 (1): 621-630.
- Boon, C. R., Robey, J. A. (1968). **Effect of domain-wall motion on power loss in grain-oriented silicon-iron sheet**, IEE Proc., 115(10): 1535-1540.
- M.I.T. (1943). Magnetic Circuits and Transformers, M.I.T. Press.
- National Instruments (2009). **Data Acquisition Fundamentals**, site <http://www.natinst.com>.
- Sen, P. C. (1989). **Principles of Electric Machines and Power Electronics**, John Wiley & Sons, New York, USA.
- Sharp, M. R. G., Overshott, K. J. (1974). Losses in silicon iron, IEEE Trans. Magnetics, 10(2), pp. 113-115.
- Overshott, K. J., Preece, I., Thompson, J. E. (1968). **Magnetic properties of grain-oriented silicon iron**, IEE Proc., 115(12): 1840-1845.