



Engenharia Elétrica

Projeto Conversão Eletromecânica de
Energia

UNIVERSIDADE ANHANGUERA DE SÃO PAULO – UNIAN ABC

Relatório Conversão de Energia - Laboratório

Profº Ms. Cristiano Malheiro Turma: Grupo nº:

Data de Entrega:

Relatório: ☐ ACEITO

☐ RECUSADO

☐ CORRIGIR

PROJETO DIRECIONADO: “Construção de Transformador Monofásico”

NOMES DOS INTEGRANTES DO GRUPO	RA
Profº. Cristiano Malheiro	
Engenharia Elétrica ____ semestre	

PROJETO DIRECIONADO: "Construção de Transformador Monofásico"

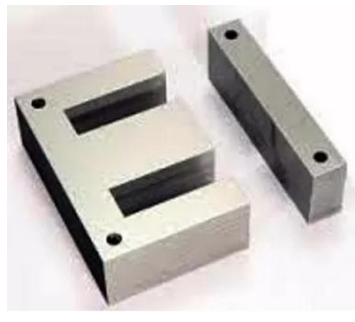
Grupo de até 5 alunos. Montagem do transformador (25/11) ou (02/12)!

Entrega de Relatório em 09/12!

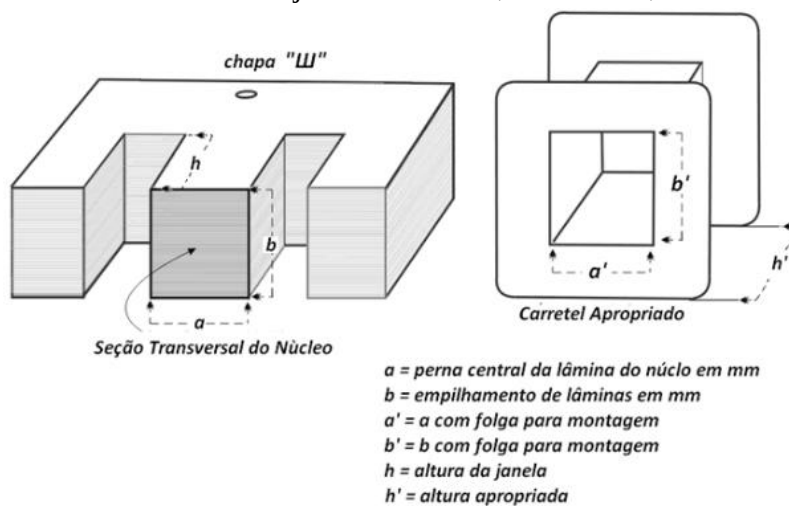
Lista de material

Para a confecção do transformador

- Fio Esmaltado para transformador 28AWG 1kg;
- Fio Esmaltado para transformador 19AWG 1kg;
- 50 núcleos de laminados de aço silício de grão não orientado (GNO) ou aço carbono em "E"
- 50 núcleos de laminados de aço silício de grão não orientado (GNO) ou aço carbono em "I".



- 1 carretel para transformador com janela com $a=2,2$ cm e $b=2,5$ cm



- fita amarela de poliéster para isolamento de transformador (sugestão 19 mm);

- rabicho para conexão na tomada;
- Multímetro para teste.

A – OBJETIVOS:

Trabalho motivacional de dimensionamento e construção de transformador monofásico, utilizando conceitos de circuitos magnéticos acoplados.

B – INTRODUÇÃO TEÓRICA:

Transformador é um dispositivo constituído de pelo menos dois circuitos elétricos independentes (enrolamentos), acoplados magneticamente, onde uma força eletromotriz alternada num dos circuitos elétricos, induz uma outra força eletromotriz no segundo circuito elétrico, através da aplicação da Lei de Faraday/Lenz:

$$e(t) = - N d\Phi / dt$$

Podem ser divididos conforme seu núcleo magnético:

- a) **núcleo ferromagnético:** usado em transformadores de potência. A função do núcleo magnético é direcionar o fluxo magnético de maneira a concatenar o máximo fluxo magnético e aumentar o campo magnético para uma determinada corrente. É constituído por lâminas de aço-silício, com espessuras entre 0,25 e 0,50mm, empilhadas uma ao lado da outra, a fim de diminuir as perdas Foucault. Tem como características:
- permeabilidade alta; relutância baixa com uma conseqüente corrente de magnetização também baixa.
 - resistividade alta; Indução residual baixa com conseqüente perda no núcleo baixa.

v

- b) **núcleo de ar:** usado em pequenos transformadores , principalmente do tipo de controle.
Tem característica $B = f(H)$ linear.
Não apresenta perdas no ferro, porém a relutância é muito grande, necessitando de alta força magnetomotriz (NI).

Outra classificação pode ser descrita:

- transformador de potência – de 50 a 60 Hz (sistema de potência).
- Transformador de controle - dezenas até 10^6 Hz, geralmente para baixas tensões.
- Transformadores de medição.

Os parâmetros nominais de um transformador estão marcados na placa do mesmo. São elas:

. potência
. tensão
. corrente
. frequência
e outros

Além destes, todos os parâmetros medidos no regime nominal, também recebem o termo nominal, como por exemplo: rendimento nominal; condições nominais de serviço.

Potência nominal : potência nos terminais do enrolamento secundário. Vale relembrar que qualquer um dos enrolamentos pode ser usado como secundário ou primário.

Tensão nominal do secundário: tensão nos terminais do secundário em vazio

C – PLANEJAMENTO DO PROJETO E PROCESSO DE CONSTRUÇÃO:

O conhecimento da aplicação do transformador a ser desenvolvido é a base fundamental do sucesso. Deve ter restrições de tamanho? Instalação será ao tempo ou em ambiente protegido? Quantas derivações de tensões queremos no enrolamento secundário?

Os dados elétricos que devem ser conhecidos previamente são: frequência da rede; potência nominal; tensões primária e secundária de linha.

A definição do material a ser utilizado nos condutores e no núcleo ferromagnético influencia o dimensionamento do transformador. Assim, é necessário detalhar um pouco mais estes dois assuntos:

C.1 – Condutores:

Os transformadores são de cobre, isolados com esmalte, ou algodão. O esmalte ocupa menor espaço que o algodão e tem como características a resistência ao calor e a elasticidade.

As bobinas serão enroladas sobre um carretel. A forma do carretel da figura 1, é obtida através de um molde de madeira, onde são enroladas e coladas, camadas de cartolina isolante, até alcançar a espessura desejada..

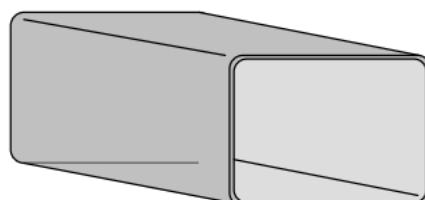


FIG-1

Como auxílio da bobinadeira de nosso laboratório, processa-se o enrolamento da bobina sobre o carretel, conforme indicado na figura 2. O enrolamento se processa, uma camada de cada vez e, entre duas camadas, uma folha de papel isolante.

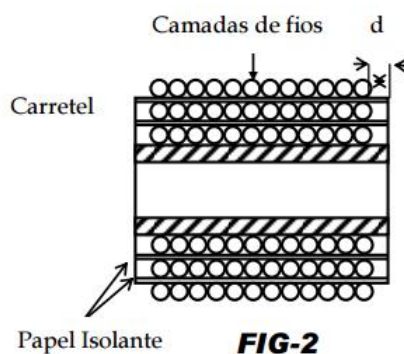


FIG-2

Observe que cada camada não é enrolada até a extremidade do carretel, garantindo assim o isolamento entre as camadas.

Primeiro executa-se o enrolamento da bobina de alta tensão. A separação entre a bobina primária e secundária é feita com uma camada de cartolina grossa.

C.2 – Lâminas do núcleo ferromagnético:

Os transformadores de pequena potência são feitos com lâminas padronizadas, chamadas de “E” e “I”. Estas lâminas são vistas na figura 3.

Todas as dimensões das lâminas “E” e “I” são em função da largura coluna central, conforme figura 4.

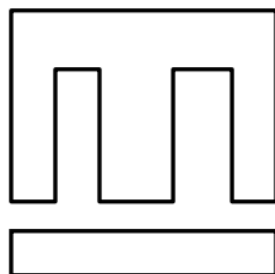


FIG-3

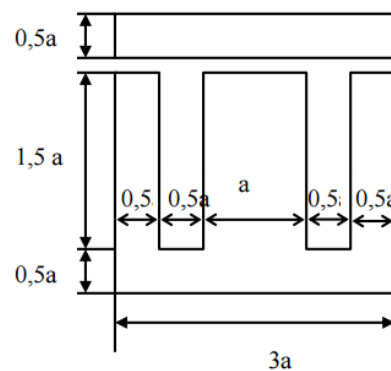


FIG-4

As lâminas “E” e “I” são colocadas em posições alternadas, conforme a figura 5, propiciando uma relutância magnética menor ao circuito proposto.

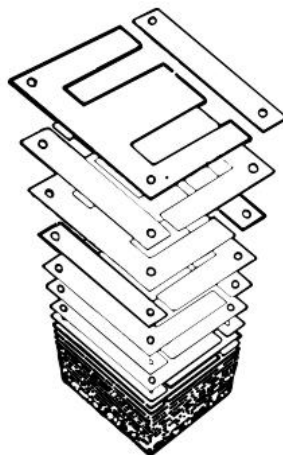


FIG-5

Um parâmetro importante na etapa da construção do transformador é a área da janela, pois dela dependerá o sucesso do encaixe do volume do carretel e das camadas dos enrolamentos.

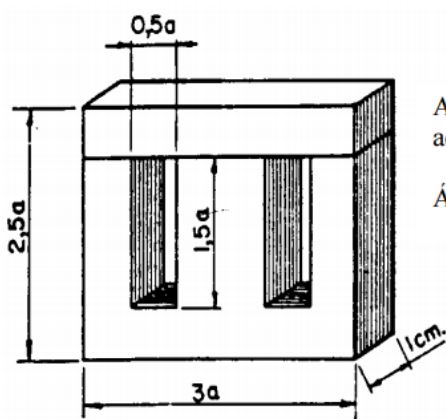


FIG-6

A janela possui dimensão indicada na figura 6 ao lado. Sua área é dada por:

$$\text{Área janela} = 0,5 a \cdot 1,5 a = 0,75 a^2$$

D – CÁLCULOS DO TRANSFORMADOR:**1) Dados nominais:**

Transformador monofásico com um enrolamento secundário.

Deve-se definir: frequência; potência aparente do enrolamento secundário; tensões dos enrolamentos primário e secundário.

$$f = \text{_____} [\text{Hz}]$$

$$S_2 = \text{_____} [\text{VA}]$$

$$V_1 = \text{_____} [\text{V}]$$

$$V_2 = \text{_____} [\text{V}]$$

2) Corrente primária e secundária:

Para cálculo da corrente do enrolamento primário é preciso partir da potência aparente do enrolamento primário. Isto é conseguido acrescentando-se à potência nominal do secundário as perdas no cobre e no ferro. No nosso caso vamos acrescentar 10%:

$$S_1 = S_2 + 10\% [\text{VA}]$$

$$I_1 = S_1 / V_1 [\text{A}]$$

$$I_2 = S_2 / V_2 [\text{A}]$$

3) Seção dos condutores:

As seções dos condutores são definidas pelas capacidades de condução da corrente. Sabe-se que, em geral, quanto maior a potência nominal do transformador maior é a dificuldade de irradiação de calor. Em função disto, a densidade de corrente diminui com o aumento da potência. A tabela 1 abaixo indica os limites que devemos seguir em nosso projeto:

Potência aparente [VA]	Densidade de corrente (J) [A/mm²]
500	3,0
501 até 1000	2,5
1001 até 3000	2,0

tabela 1

Escolhendo-se a densidade de corrente, calculam-se as seções dos condutores:

$$\left. \begin{array}{l} A_1 = I_1 / J \text{ [mm}^2\text{]} \\ A_2 = I_2 / J \text{ [mm}^2\text{]} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Escolhem-se os fios que mais se aproximam} \\ \text{das seções } A_1 \text{ (para o primário) e } A_2 \text{ (para o} \\ \text{secundário).} \end{array}$$

5

Uma vez escolhidos os fios comerciais, faz-se o processo inverso, ou seja, a partir da corrente e da seção do fio escolhido, determino a real densidade de corrente em cada condutor.

Observa-se se a tabela da densidade de corrente em função da potência ainda está sendo atendida.

$$J_1 = I_1 / A_1 \text{ [A/mm}^2\text{]}$$

$$J_2 = I_2 / A_2 \text{ [A/mm}^2\text{]}$$

4) Seção do núcleo ferromagnético:

Existe uma relação importante entre número de espiras e tamanho do núcleo ferromagnético. Quanto um aumenta o outro diminui. O uso de núcleo muito pequeno obriga o dimensionamento de elevado número de espiras, o qual estará limitado pelo tamanho da janela do núcleo.

O núcleo bem dimensionado é aquele que permite a entrada do número de espiras, de maneira justa nas janelas. Para se calcular o núcleo do transformador é preciso considerar o tipo de lâminas e o número de circuitos que o transformador possui.

As lâminas que iremos utilizar são as padronizadas (existem as do tipo “lâminas compridas”). Já o número de circuitos, no nosso caso, é um transformador que possui um circuito primário e um secundário.

A_m : seção magnética →

$$A_m = 7,5 \cdot \sqrt{(S_2 / f)} \quad [\text{cm}^2]$$

A_g : seção geométrica →

$$A_g = 1,1 \cdot A_m \quad [\text{cm}^2]$$

Com base no A_m consulta-se a tabela 2 abaixo e tira-se a lâmina padronizada com a (cm). Escolhe-se a largura de uma lâmina padronizada e a quantidade de lâminas que proporcione a seção geométrica definida acima.

LÂMINAS PADRONIZADAS

No.	a [cm]	Seção da janela [mm ²]	Peso do núcleo [kg/cm]
0	1,5	168	0,095
1	2,0	300	0,170
2	2,5	468	0,275
3	3,0	675	0,380
4	3,5	900	0,516
5	4,0	1200	0,674
6	5,0	1880	1,053

tabela 2

A tabela de lâminas padronizadas acima relaciona o no. de ordem, a largura da coluna central em mm, área da janela em mm² e peso por centímetro do comprimento do núcleo. Usam-se lâminas padronizadas em transformadores de até 800 [VA].

5) Cálculo do número de espiras:

Emprega-se a expressão:

$$N_1 = (V_1 \cdot 10^8) / (4,44 \cdot B_m \cdot A_m \cdot f)$$

onde : N_1 : número de espiras do enrolamento primário.

V_1 : tensão do primário [V]

B_m : indução magnética no ferro. Para lâminas de ferro silício, de boa qualidade, $B_m = 11300 \cdot (1,13 \text{ T})$

A_m : seção magnética em cm².

f : frequência em Hertz.

Cálculo análogo para determinar o número de espiras do secundário (N_2).

6) Área do cobre:

Determina-se a área da janela que será ocupada pelos enrolamentos:

$$A_{CU} = N_1 \cdot A_1 + N_2 \cdot A_2 \text{ [mm}^2\text{]}$$

7) Viabilidade do núcleo ferromagnético escolhido:

A relação entre área da janela e área do cobre deve ser maior ou igual a 3.

$$A_{\text{janela}} / A_{CU} \geq 3$$

8) Peso do núcleo ferromagnético:

Da tabela 2, tira-se o peso [kg/cm] da lâmina escolhida e multiplica-se pela profundidade (espessura) do núcleo, obtida no item 4. O peso P_{FE} já será em [kg].

9) Peso do cobre utilizado:

Para cálculo do peso do cobre utilizado, usa-se o conceito do comprimento da espira média, levando-se em conta o primário e o secundário.

$$l_m = 2 \cdot a + 2 \cdot b + 0,5 \cdot a \cdot \pi \text{ [cm]}$$

onde: a = largura da lâmina padronizada.
b = profundidade (espessura) do núcleo.

O peso do cobre será dado por:

$$P_{CU} = [A_{CU} \cdot I_m \cdot 8,9] / 100 \quad [\text{gramas}]$$

10) Perdas no ferro:

As lâminas de aço para fins elétricos são especificadas por suas perdas [W/kg]. Solicitar ao fabricante, ou obter de gráficos auxiliares, que relacionem as perdas [W/kg] medida em 60 Hz e multiplica-se por 1,25.

$$\omega_{fe} = 1,25 \cdot [B_{\text{máx}}/10000] \quad [\text{W/kg}]$$

$$W_{fe} = 1,15 \cdot \omega_{fe} \cdot P_{FE} \quad [\text{W}]$$

11) Perdas no cobre:

Através da densidade média de corrente, calculada no item 3, calcula-se a perda específica no cobre:

$$\omega_{cu} = 2,43 \cdot [d_{\text{media}}]^2 \quad [\text{W/kg}]$$

As perdas no cobre do transformador serão:

$$W_{CU} = \omega_{cu} \cdot P_{CU} \quad [\text{W}]$$

12) Rendimento do transformador:

$$\eta = S_2 / S_1 = S_2 / [S_2 + W_{CU} + W_{fe}]$$

13) Com o transformador pronto, ensaiar:

- Em vazio – relação de números de espiras.
- polaridade.
 - colocar etiquetas dos dados nominais.



Engenharia Elétrica

**Projeto Conversão Eletromecânica de
Energia**

RELATÓRIO FINAL

Por grupo entregar um relatório contendo:

- CAPA;
- INTRODUÇÃO (Transformadores- Pesquisa Bibliográfica);
- METODOLOGIA (Descritivo de materiais, cálculos);
- Resultados (Foto do conjunto montado);
- CONCLUSÃO (O que foi relevante deste projeto para o grupo?)
- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Avaliação: Construção (1,5 pontos) e Relatório Final (0.5 ponto).