

Roteiro-Relatório da Experiência Nº 7

“O TRANSFORMADOR”

1. COMPONENTES DA EQUIPE:

ALUNOS		NOTA
1	_____	Prof.: Celso José Faria de Araújo Data: ___/___/___ __:___ hs
2	_____	
3	_____	
4	_____	
5	_____	

2. OBJETIVOS:

- 2.1. Verificar experimentalmente o funcionamento de um transformador.
- 2.2. Fazer o levantamento dos principais parâmetros do transformador.

3. PARTE TEÓRICA:

Um transformador é constituído basicamente por dois enrolamentos que, utilizando um núcleo em comum, converte primeiramente energia elétrica em magnética e a seguir energia magnética em elétrica. O seu princípio de funcionamento baseia-se no fenômeno da **indução eletromagnética**, ou seja, em um enrolamento a tensão variável aplicada origina uma corrente, que por sua vez, cria um campo magnético variável, induzindo uma corrente e consequentemente uma tensão no outro enrolamento próximo.

A Figura 1 mostra o esquema básico de um transformador.

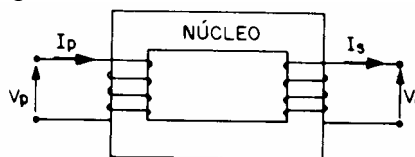


Figura 1

Notamos pela figura, que o transformador possui um **enrolamento primário** onde é aplicada a tensão a ser convertida (V_p), e um **enrolamento secundário** onde é retirado a tensão de saída (V_s).

Cada enrolamento é composto por um determinado número de espiras responsáveis pela relação de conversão, ou seja, a tensão de saída será proporcional à relação do número de espiras e ao valor da tensão de entrada. Assim sendo, podemos escrever a relação:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

onde: V_p = tensão no primário

V_s = tensão no secundário

N_p = número de espiras do primário

N_s = número de espiras do secundário

Em um **transformador ideal** a potência obtida no secundário é igual à potência aplicada ao primário, não existindo perdas. Efetuando-se esta igualdade temos:

$$P_p = P_s \quad \text{ou} \quad V_p \cdot I_p = V_s \cdot I_s \quad \therefore \quad \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

onde: P_p = potência no primário
 P_s = potência no secundário
 I_p = corrente no primário
 I_s = corrente no secundário

Igualando-se as equações da relação de correntes com a do número de espiras, podemos escrever:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

Em um **transformador real** a potência obtida no secundário é menor que a potência aplicada ao primário, existindo perdas.

As principais perdas em um transformador ocorrem nos enrolamentos e no núcleo. Nos enrolamentos, devido à resistência ôhmica do fio, parte da energia é convertida em calor por **Efeito Joule**, causando perdas denominadas **perdas no cobre**. No núcleo, temos perdas causadas pela **reversão magnética** cada vez que a corrente muda de sentido (Ciclo de Histerese), pela **dispersão de linhas de campo magnético** e pelas **correntes parasitas de Foucault**, que induzidas no núcleo o aquecem, reduzindo o campo principal. Para evitar as correntes de Foucault, o núcleo é constituído por chapas laminadas, isoladas por um verniz e solidamente agrupadas. Para diminuir as perdas por Histerese o material das chapas é composto de aço-silício. Para reduzir a dispersão de fluxo, todo o conjunto tem um formato apropriado, onde os enrolamentos primário e secundário são, através de um carretel, colocados na parte central, concentrando dessa maneira as linhas de campo magnético. A Figura 2 mostra um transformador com as características construtivas citadas.

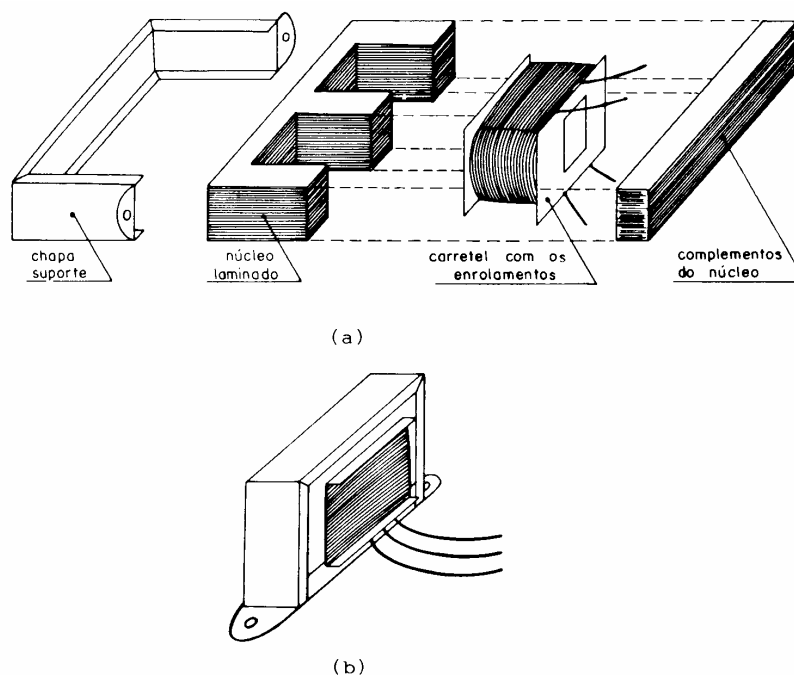


Figura 2

Como vimos, na prática as perdas podem ser minimizadas, aumentando assim o rendimento do transformador (η), definido pela relação entre as potências do secundário e do primário. Sendo assim, temos:

$$\eta = \frac{P_s}{P_p} \quad \text{ou} \quad \eta\% = \frac{P_s}{P_p} 100 \quad (1)$$

Existem vários tipos de transformadores, que de acordo com a aplicação a qual se destinam, possuem aspectos construtivos apropriados. Como por exemplo, temos o transformador de alta tensão (Fly-back), cujo núcleo de ferrite e os enrolamentos, possuem características apropriadas para trabalhar como elevador de tensão em altas frequências.

Uma outra característica importante é a do tipo de enrolamento, que pode ser: simples, múltiplos ou com derivação. A Figura 3 ilustra alguns tipos de enrolamentos.

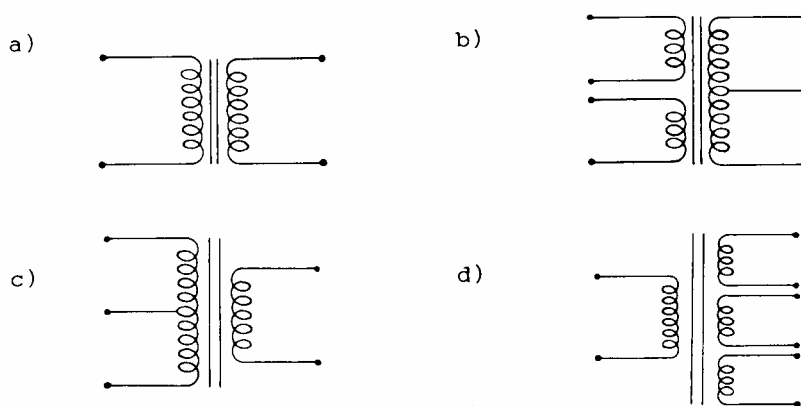


Figura 3 – Tipos de Enrolamentos

- (a) Primário e secundário com enrolamento simples,
- (b) Primário com enrolamento duplo e secundário com derivação central,
- (c) Primário com derivação central e secundário simples,
- (d) Primário com enrolamento simples e secundário com múltiplos enrolamentos.

O transformador pode de acordo com o sentido do enrolamento, defasar a tensão de saída em relação à tensão de entrada. Se o sentido do enrolamento primário coincidir com o do enrolamento secundário teremos as tensões de entrada e saída em fase, caso contrário, estas estarão defasadas de 180° . Para facilitar a identificação, costuma-se, na simbologia do transformador, colocar um ponto definindo o sentido do enrolamento. A Figura 4 ilustra estas situações.

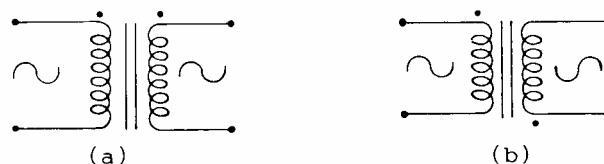


Figura 4 – (a) Transformador com enrolamentos de sentidos concordantes;
 (b) Transformador com enrolamentos de sentidos opostos.

Num transformador com derivação central no secundário, como mostra a Figura 5, teremos, em relação ao terminal central, duas tensões de mesma amplitude, porém defasadas de 180° . Em alguns casos de aplicação, como nos retificadores, essa defasagem se faz necessária para o devido funcionamento do circuito.

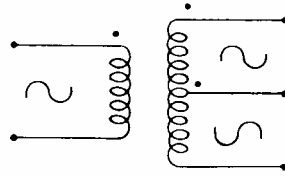


Figura 5

Para um transformador ideal, como mostrado na Figura 6, pode-se obter as seguintes equações no domínio do tempo:

$$v_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} \quad (2) \quad v_2 = L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt} \quad (3)$$

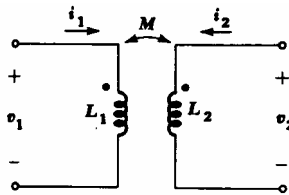


Figura 6

Onde: v_1 = tensão no primário e v_2 = tensão no secundário

i_1 = corrente no primário e i_2 = corrente no secundário

L_1 = indutância do primário, L_2 = indutância do secundário e M = indutância mútua

Se as tensões e correntes são senoidais então se pode escrever as equações (2) e (3) no domínio da frequência:

$$V_1 = j\omega(L_1 I_1 + M I_2) \quad (4) \quad V_2 = j\omega(L_2 I_2 + M I_1) \quad (5)$$

Onde: ω = frequência angular em radianos por segundos ($2\pi f$)

V_1, V_2, I_1 e I_2 são fasores das grandezas correlacionadas.

3.1. Determinação das indutâncias L_1 e L_2 e a relação de espiras.

Deixando o secundário em aberto ($I_2 = 0$), aplicando uma tensão qualquer (senoidal de frequência nominal de operação do transformador) no primário e medindo a corrente no primário obtém-se L_1 utilizando (6) e de forma análoga, tem-se também L_2 através de (7).

$$|Z_{L1}| = \left| \frac{V_1}{I_1} \right| = \omega L_1 \therefore L_1 = \frac{|Z_{L1}|}{\omega} \quad (6) \quad |Z_{L2}| = \left| \frac{V_2}{I_2} \right| = \omega L_2 \therefore L_2 = \frac{|Z_{L2}|}{\omega} \quad (7)$$

De posse de L_1 e L_2 obtém-se a relação de espiras entre o primário (N_1) e o secundário (N_2) do transformador:

$$a^2 = \frac{L_2}{L_1} = \frac{N_2^2}{N_1^2} \quad (8) \quad a = \frac{N_2}{N_1} \quad (9)$$

3.2. Determinação da indutância Mútua M .

3.2.1. Método 1.

Para a situação indicada na Figura 7 observa-se que:

$$V_x = V_1 + V_2 \text{ e } I_x = I_1 = I_2$$

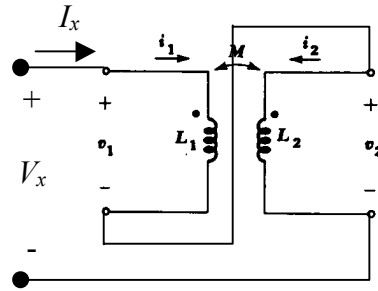


Figura 7

Utilizando as equações (4) e (5) tem-se que:

$$|Z_x| = \left| \frac{V_x}{I_x} \right| = \omega(L_1 + L_2 + 2M) \quad (10)$$

Para a situação indicada na Figura 8 observa-se que:

$$V_y = V_1 - V_2 \text{ e } I_y = I_1 = -I_2$$

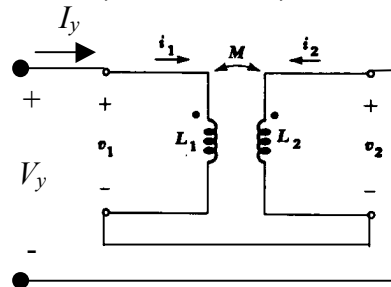


Figura 8

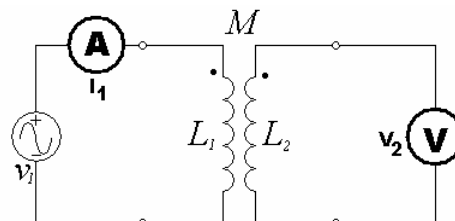
Utilizando as equações (4) e (5) tem-se que:

$$|Z_y| = \left| \frac{V_y}{I_y} \right| = \omega(L_1 + L_2 - 2M) \quad (11)$$

Utilizando as equações (10) e (11) chega-se finalmente a equação da indutância mútua:

$$M = \frac{|Z_x| - |Z_y|}{4\omega} \quad (12)$$

3.2.2. Método 2.



$$M = \frac{V_2}{I_1} \frac{1}{\omega} \quad (13)$$

3.3. Determinação do coeficiente de acoplamento k.

Pode-se agora calcular o coeficiente de acoplamento entre os dois enrolamentos:

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad \text{ou} \quad k\% = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \cdot 100 \quad (14)$$

4. MATERIAL UTILIZADO

- 4.1. Gerador de tensão senoidal.
- 4.2. Transformador 110/220 V / 15+15 V 1 A ou superior.
- 4.3. Resistor: 100 Ω / 20W e 1 Ω / 20W.
- 4.4. Multímetro.

5. PRÉ-RELATÓRIO

- 5.1. Para este experimento não são necessários cálculos prévios.

6. PARTE EXPERIMENTAL:

6.1. Potência, Rendimento e Relação de Espiras.

Conectar uma carga no secundário de 100Ω e aplicar no primário uma tensão senoidal de $220V_{rms}/60Hz$. Medir as tensões e correntes no primário e secundário do transformador, calcular as potências, o rendimento e a relação de espiras e anotar na Tabela 1. Como no secundário, a carga é puramente resistiva, o fator de potência do secundário é 1. Para medir o fator de potência no primário (somente para isto), insira um resistor de 1Ω em série no primário e verifique o defasamento (Lissajous) entre a tensão no primário e a tensão no resistor de 1Ω . Veja Figura 9.

V_p (V_{rms})	I_p (A_{rms})	FP_p^*	V_s (V_{rms})	I_s (A_{rms})	FP_s^*
					1
P_p (W)			P_s (W)		
$P_p = V_p I_p FP_p =$ _____			$P_s = V_s I_s FP_s =$ _____		
$\eta\%$ (rendimento)					
N_p / N_s (relação de espiras)					

Tabela 1 – *FP = Fator de Potência

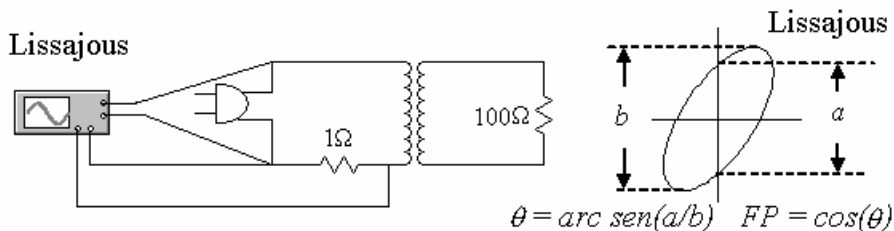


Figura 9 – Defasamento no Primário.

6.2. Indutâncias L_1 e L_2

Deixe o secundário do transformador em aberto ($I_2 = 0$) e aplique uma tensão qualquer ($3 - 7 V_{rms}$) senoidal em 60Hz no primário e meça a corrente no primário (I_1). Utilize a equação (6) para calcular L_1 e preencher a Tabela 2.

V_1 (V_{rms})	I_1 (A_{rms})	ω (rad/s)	L_1 (H)

Tabela 2

Deixe o primário do transformador em aberto ($I_1 = 0$) e aplique uma tensão qualquer ($3-7 V_{rms}$) senoidal em 60Hz no secundário e meça a corrente no secundário (I_2). Utilize a equação (7) para calcular L_2 e preencher a Tabela 3.

V_2 (V_{rms})	I_2 (A_{rms})	ω (rad/s)	L_2 (H)

Tabela 3

Calcule a relação de espiras utilizando a equação (8) e (9) e verifique se o valor se aproxima do calculado no item 6.1. $a =$ _____

6.3. Indutância Mútua M e Fator de Acoplamento pelo método 1

Utilize o esquema indicado na Figura 7 para aplicar uma tensão qualquer ($3-7 V_{rms}$) senoidal em 60Hz para V_x . Meça a corrente I_x e com a equação (10) calcule o módulo de Z_x . Insira os dados na Tabela 4.

V_x (V_{rms})	I_x (A_{rms})	$ Z_x $ (Ω)

Tabela 4

Utilize o esquema indicado na Figura 8 para aplicar uma tensão qualquer ($3-7 V_{rms}$) senoidal em 60Hz para V_y . Meça a corrente I_y e com a equação (11) calcule o módulo de Z_y . Insira os dados na Tabela 5.

V_y (V_{rms})	I_y (A_{rms})	$ Z_y $ (Ω)

Tabela 5

Utilize a equação (12) para calcular a indutância mútua.

$$M = \text{_____ H}$$

Finalmente com o auxílio da equação (14) calcule o fator de acoplamento k .

$$k\% = \text{_____}$$

6.4. Indutância Mútua M e Fator de Acoplamento pelo método 2

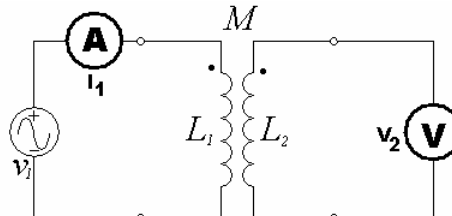


Figura 10

Utilize o esquema indicado na Figura 10 para aplicar uma tensão qualquer ($3-7 V_{rms}$) senoidal em 60Hz para V_1 . Meça a corrente I_1 e com a equação (13) calcule o módulo de M . Insira os dados na Tabela 6.

V_2 (V_{rms})	I_1 (A_{rms})	ω (rad/s)	M (H)

Tabela 6

$$M = \text{_____ H}$$

Finalmente com o auxílio da equação (13) calcule o fator de acoplamento k .

$$k\% = \text{_____}$$

