

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
 Retificadores (ENG - 20301)

AULA LAB 03
TRANSFORMADORES E INDUTORES

1 INTRODUÇÃO

Os transformadores e indutores são componentes usados frequentemente em circuitos eletrônicos e por isso, consolidar os conhecimentos adquiridos nas aulas teóricas é fundamental para o entendimento adequado dos princípios de funcionamento e detalhes práticos destes elementos. Esta consolidação pode se dar via resolução de exercícios, problemas, simulação ou experimentos de laboratório.

Sabe-se que o campo magnético (H) está relacionado com a circulação de corrente elétrica por um condutor e que a indução magnética ou densidade de fluxo magnético (B) está relacionada com a tensão. Desta forma, ao invés de traçar a curva B versus H, pode-se desenhar a curva V versus I e obter uma imagem do que seria a curva de magnetização do material.

Assim, os objetivos principais desta aula de laboratório da disciplina de Retificadores são:

- Levantar as curvas tensão versus corrente de indutores com núcleo de ar e com núcleo de ferrite;
- Verificar o efeito da saturação em indutores com núcleo de ferrite;
- Identificar os terminais de um transformador usando um multímetro;
- Ensaiar um transformador com e sem carga, medindo sua regulação;
- Obter a relação de transformação de transformadores para baixa frequência.

2 IDENTIFICAÇÃO DO TRANSFORMADOR

Para usar um transformador é muito importante identificar seus terminais, conhecendo-se sua entrada e sua saída. Em alguns casos a identificação destes terminais pode ser perdida e, nesta situação, será necessário identificar os terminais do transformador, marcando-os adequadamente.

Com ajuda do multímetro na escala de resistência, meça o transformador e anote os dados obtidos na tabela 1.

Tabela 1 – Identificação do transformador.

Elemento	Grandeza	Medida
Primário 1 (0 – 110)	Resistência	
Primário 2 (110 - 220)		
Total no primário (0 - 220)		
Secundário 1 (comum – 12)		
Secundário 2 (comum - 12)		
Total no secundário (12 - 12)		

3 REGULAÇÃO DO TRANSFORMADOR

Inicialmente será determinada a regulação de um transformador convencional com entrada em 220 V e saída em 12+12 V e 210 mA.

Para obter a regulação, conecte corretamente o transformador e meça a tensão nos secundários, com e sem carga, anotando os valores na tabela 2.

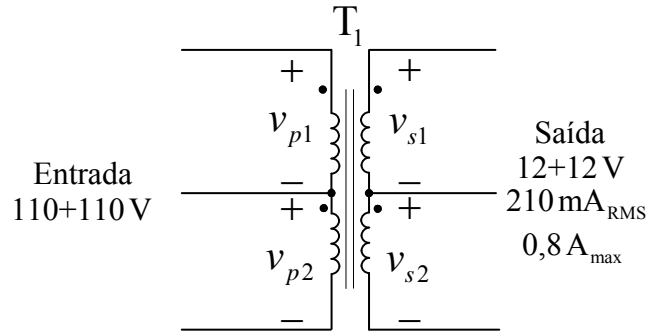


Figura 1 – Circuito do transformador a ser ensaiado.

A expressão para determinar a regulação de um transformador é mostrada a seguir:

$$\text{Regulação} = \frac{\text{tensão sem carga} - \text{tensão com carga}}{\text{tensão com carga}} \cdot 100\%$$

Tabela 2 – Regulação de um transformador.

Elemento	Grandeza	Sem carga	Com carga	Regulação
Secundário 1	Tensão de pico			
	Tensão eficaz			
Secundário 2	Tensão de pico			
	Tensão eficaz			
Secundário 1 + Secundário 2	Tensão de pico			
	Tensão eficaz			
Características da carga utilizada				
Resistência do resistor	Potência do resistor	Corrente máxima $I = \sqrt{P/R}$	Maior Corrente obtida (calcular usando $I = V/R$)	
150 Ω	10 W			

4 MAGNETIZAÇÃO DE UM MATERIAL

Os materiais podem ser classificados em diamagnéticos, paramagnéticos e ferromagnéticos conforme sua permeabilidade magnética (μ).

Materiais diamagnéticos e paramagnéticos possuem uma permeabilidade próxima de um ($\mu \gg 1$), sendo que os diamagnéticos possuem $\mu < 1$ e os paramagnéticos $\mu > 1$. Os materiais de maior interesse na engenharia para construção de dispositivos eletromagnéticos são os ferromagnéticos, os quais possuem uma permeabilidade elevada, muito maior que um ($\mu \gg 1$). Lembrando que a permeabilidade pode ser associada com a facilidade à passagem do fluxo magnético, portanto quanto maior, mais “condutor” de fluxo magnético o material será.

Na figura 2 são mostradas duas curvas, a primeira delas é a curva típica de magnetização de um ferrite, enquanto a segunda mostra a variação da permeabilidade com a temperatura.

Pela figura pode-se verificar que existe uma região de comportamento praticamente linear, ou seja, para aumentos da intensidade de campo magnético (H) o material sofre uma indução proporcional (B). No entanto, para intensidades de campo muito altas o material satura, chegando ao limite de indução possível e a partir daí não ocorrem mais aumentos significativos na indução (B) para aumentos no campo magnético (H).

A região de operação depende da aplicação desejada. Para um indutor, normalmente se evita trabalhar próximo da região de saturação, pois nesse caso, em termos de circuitos elétricos, o efeito é a queda da indutância (L) e conseqüente alterações no funcionamento do circuito.

É importante observar que a temperatura afeta muito a permeabilidade magnética do material, daí ser importante especificar com cuidado a temperatura de operação do componente e do circuito onde o mesmo será aplicado.

Na figura 3 mostram-se o comportamento dos momentos (dipolos) magnéticos submetidos a diferentes temperaturas. Nota-se que, como o material é ferromagnético, com baixas temperaturas os dipolos estão alinhados, caracterizando uma alta permeabilidade. Já com aumento da temperatura começa a ocorrer um desalinhamento dos dipolos, o que é caracterizado como uma diminuição da permeabilidade (μ). Acima da temperatura de Curie (T_c), o material começa a ter comportamento de paramagnético ($\mu \gg 1$).

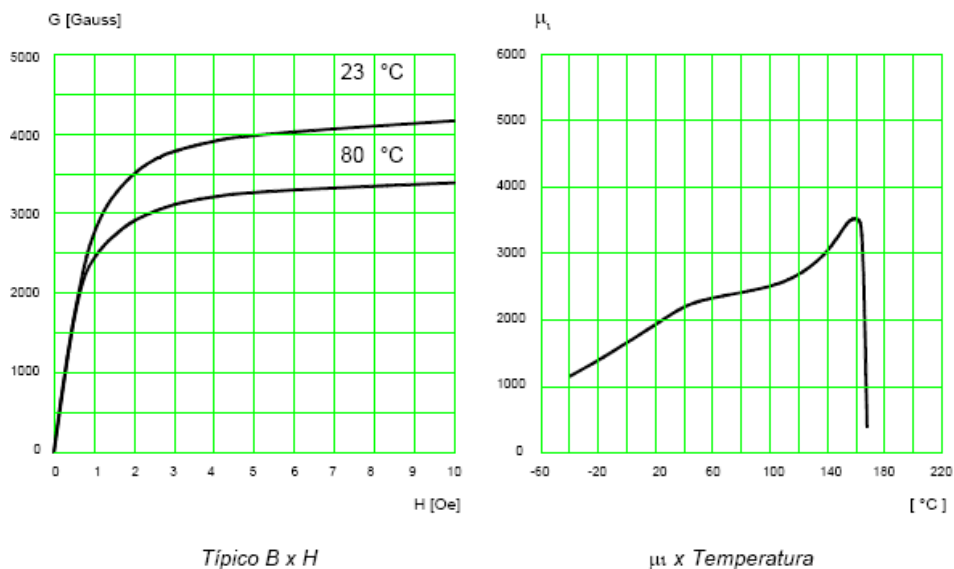


Figura 2 – Curvas de magnetização e variação da permeabilidade com a temperatura [3].

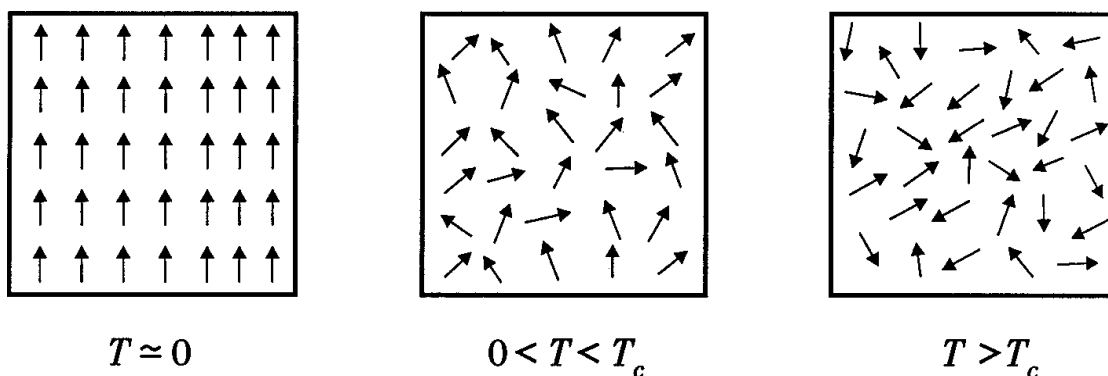


Figura 3 – Momentos magnéticos para diferentes temperaturas [2].

Informações adicionais sobre esta experiência podem ser encontradas:

- [1] Materiais Elétricos – Volume II – Isolantes e Magnéticos. Walfredo Schmidt. Editora Edgar Blücher, 1979;
- [2] Materiais e Dispositivos Eletrônicos. Sergio M. Rezende. Editora Livraria da Física, 2004.
- [3] Núcleos de ferrite Thornton, www.thornton.com.br;
- [4] Lâminas de ferro silício, www.acesita.com.br.

5 CURVAS DE MAGNETIZAÇÃO DE INDUTORES

Neste item serão levantadas as curvas de magnetização de indutores com núcleo de ar e núcleo de ferrite. O objetivo é medir a tensão e corrente no indutor, para diversos valores de corrente e em seguida traçar um gráfico $V \times I$, que é uma imagem do gráfico de $B \times H$.

Além disso, será possível verificar o fenômeno da saturação do indutor com núcleo de ferro observando o gráfico traçado. Ainda, pelas formas de onda da tensão e corrente no indutor também será possível notar a saturação deste, pelo fato da relação abaixo não ser satisfeita linearmente quando a permeabilidade do núcleo começar a variar.

$$v_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt}$$

O procedimento para realização do experimento é explanado a seguir.

A tensão de entrada do circuito será controlada pelo varivolt (variador de tensão alternada). Desta forma, pode-se controlar a corrente que circula pelo indutor (i_L). A tensão resultante sobre o indutor (v_L) será medida, assim como a corrente (i_L).

- a. Meça a indutância dos indutores e anote os valores obtidos na tabela 3.
- b. Para cada um dos indutores, variar a tensão, iniciando em zero volts, ajustando o varivolt para que a corrente seja incrementada conforme a tabela. Anotar os dados nas colunas correspondentes da tabela 4.

Tabela 3 – Indutância dos indutores.

Indutor	Indutância
Núcleo de ar	
Núcleo de ferrite	

Tabela 4 – Curva de magnetização de indutores.

Núcleo de Ar			Núcleo de Ferrite		
Corrente desejada [mA]	Corrente medida [mA]	Tensão no indutor [V]	Corrente desejada [mA]	Corrente medida [mA]	Tensão no indutor [V]
0,0			0,0		
50,0			40		
100,0			50		
150,0			60		
200,0			70		
250,0			80		
300,0			90		
350,0			100		
Resistor série para limitar a corrente de 150 Ω x 10 W			Resistor série para limitar a corrente de 820 Ω x 10 W		

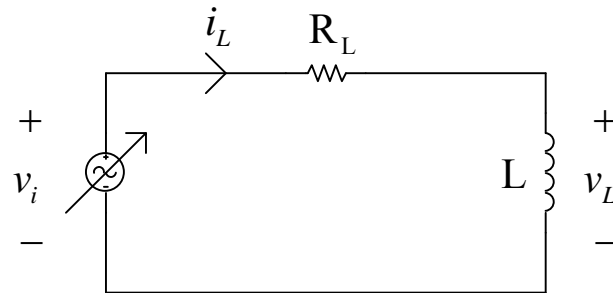


Figura 4 – Circuito a ser montado para levantar a curva de magnetização dos indutores.

6 QUESTÕES

Sobre o item referente à identificação do transformador:

- 1) Os valores medidos têm relação com a tensão no enrolamento?
- 2) Se as tensões não fossem conhecidas, como seria possível determinar a tensão de entrada e a tensão de saída do transformador.

Sobre o item referente à regulação do transformador:

- 3) Comente sobre os valores medidos com carga e sem carga.
- 4) O transformador pode ser considerado de boa qualidade quanto à sua regulação?

Sobre o item referente às curvas de magnetização dos indutores:

- 5) Construa as curvas V versus I , individualmente para cada indutor, com os dados obtidos na tabela 4.
- 6) Construa as curvas V versus I num mesmo gráfico, com a finalidade de comparar os resultados obtidos com os materiais magnéticos utilizados.
- 7) Identificar as regiões de operação do indutor nas curvas obtidas e explicar o comportamento do material em termos de domínios magnéticos.