

TRANSFORMADORES

Teoria, Prática e Dicas (para transformadores de pequena potência)

Biografia

Esta literatura foi elaborada a partir de experiências em aulas com a produção de transformadores nos anos de 1988 e 1989.

Parte deste material já compunha uma apostila, do próprio autor, chamada: *Apostila Prática Sobre Transformadores de Núcleo de Ferro*. Outras partes são dicas dadas em aula de eletrônica.

Agradeço ao Engenheiro José Newton, meu ex-professor e ex-colega de aulas, que me ensinou a persistir e tentar sempre aprender mais.

Autor:

Luiz Antonio Bertini

Índice

Capítulo 1

Teoria sobre Transformadores	5
Considerações Gerais sobre Transformadores	7
Cálculo dos Transformadores	8
Cálculo de um Transformador	10
Tabela de Equivalências e Escalas de Fios	15
Relações entre Medidas dos Núcleos	23

Capítulo 2

Dicas Práticas	25
----------------------	----

Capítulo 3

Usando Carretéis, Fazendo os Enrolamentos e Montando o Núcleo	35
--	----

Capítulo 1

Teoria sobre Transformadores

Transformadores ou *trafos* são dispositivos elétricos que têm a finalidade de isolar um circuito, elevar ou diminuir uma tensão. Servem também para casar impedância entre diferentes circuitos ou como parte de filtros em circuitos de rádio frequência.

Existem transformadores de diversos tipos, cada um com uma finalidade, construção e tamanho específicos.

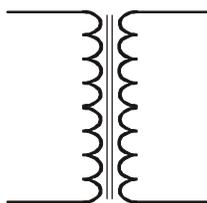
Teoricamente, um transformador tem de transferir toda a potência do primário para o secundário (primário e secundário são enrolamentos de entrada e saída, respectivamente).

Na prática, observa-se certa perda de potência nessa transferência de potência, ocasionada por diversos motivos, como a resistência de fio, correntes pelo núcleo, chamados de correntes de *Foucault* etc. Um transformador é constituído pelo menos por dois enrolamentos. Na maioria dos casos, esses enrolamentos são independentes, entre si, mas sofrem a ação do campo eletromagnético, que é mais intenso quanto esses transformadores que possuem um núcleo de material ferromagnético.

O enrolamento em que aplicamos a tensão que desejamos *transformar* chama-se *primário* e o enrolamento onde obtemos a tensão desejada se chama *secundário*.

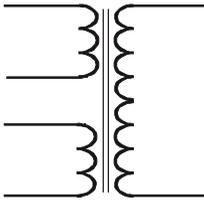
A tensão do secundário depende da relação de espiras entre o primário e o secundário e da tensão aplicada no primário.

Embora esta literatura se resuma ao cálculo e dicas de *trafos* monofásicos e bifásicos com núcleo de ferro, apresentamos, a seguir, alguns símbolos de outros tipos de transformadores e suas respectivas aplicações:



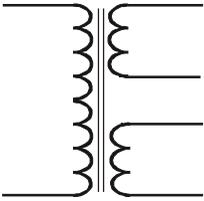
Trafo com núcleo de ferro. Utilizado em fontes convencionais para a isolação de circuitos e para se ter a tensão desejada.

Figura 1



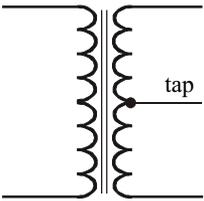
Trafo com núcleo de ferro com dois enrolamentos primários. Utilizado quando há a necessidade da aplicação de diferentes tensões em seu primário, como 127 ou $220VAC$.

Figura 2



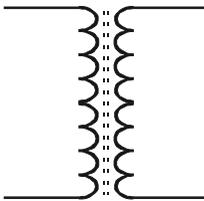
Trafo com núcleo de ferro com dois enrolamentos secundários. Empregado quando são necessárias duas tensões de saída. Exemplo: $15VAC$ e $5VAC$.

Figura 3



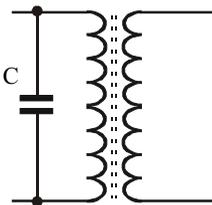
Trafo com centro tap (tomada central ou apenas tap), no secundário. Utilizado quando se deseja trabalhar com retificação em onda completa, porém com apenas dois diodos.

Figura 4



Trafo com núcleo de ferrite. Utilizado em fontes chaveadas.

Figura 5



Trafos sintonizados com núcleo de ferrite. Utilizados em circuitos de RF (rádio frequência).

Figura 6

Observação:

Cabe lembrar que não foram citados todos os tipos de transformadores, muito menos as suas utilidades.

Considerações Gerais sobre Transformadores

Todos os transformadores se aquecem durante o funcionamento, em virtude das perdas que existem em todos eles.

Quanto mais alta a potência retirada nos secundários de um trafo, maior será o aquecimento do mesmo.

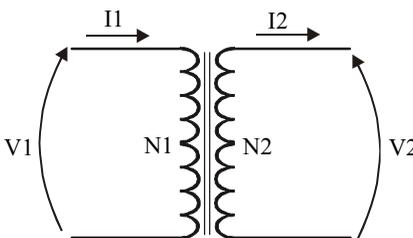
Os núcleos devem ser feitos de chapas de ferro silício, não servindo para o mesmo fim, ferro doce ou outro ferro comum, assim como também não é possível um núcleo de ferro maciço.

A qualidade do ferro empregado é um fator que deve ser considerado no projeto de um trafo. Em trafos de força, usamos chapa de ferro silício de **1,7** ou **2 Watts/Kg**.

Se o ferro for de qualidade inferior, a secção do núcleo deverá ser aumentada para um mesmo transformador.

Para determinada tensão variável aplicada no primário do transformador teremos uma tensão induzida no secundário.

Dado o esquema de um trafo, teremos:



onde:

V_1 = tensão no primário

V_2 = tensão no secundário

I_1 = corrente no primário

I_2 = corrente no secundário

N_1 = espiras do primário

N_2 = espiras do secundário

Em um trafo ideal teremos:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Figura 7

Cálculo dos Transformadores

Para calcular um trafo, vamos fazer uso da expressão geral da tensão alternada (**E ou VAC**).

$$E = 0,000.000.044 \times N \times B \times S \times F$$

em que:

E = tensão elétrica

N = núcleo de espiras do primário

B = densidade de fluxo magnético em Gauss

S = secção magnética eficaz do núcleo

F = frequência da tensão alternada

Podemos reescrever a fórmula citada assim:

$$N = \frac{E \times 10^8}{4,44 \times B \times S \times F}$$

ou para simplificar os cálculos:

$$N = \frac{10^8}{4,44 \times B \times S \times F}$$

Dessa forma, encontramos uma relação chamada de espira por *Volt*, o que quer dizer que, o N encontrado deve ser multiplicado pela tensão do primário, para encontrarmos o número de espiras necessário no primário

Obs.:

Cuidado, pois, 10^8 é igual a 100.000.000 e não a 1.000.000.000.

A densidade do fluxo magnético **B**, que é dada em Gauss, terá o seu valor entre **8.000** a **14.000**. Um valor de *B* baixo (**próximo a 8.000**) deixará o transformador grande, enquanto que um *B* elevado (**próximo a 14.000**), fará com que o trafo fique menor. Nunca use o máximo valor de **B**, pois você irá saturar o núcleo.

A secção magnética do núcleo será calculada por:

$$\mathbf{S_m} \cong \frac{7\sqrt{\mathbf{P}}}{\mathbf{F}} \quad \text{em que: } \mathbf{S_m} = \text{secção magnética (cm}^2\text{)}$$

\mathbf{P} = potências dos secundários somadas
 \mathbf{F} = frequência

e a secção geométrica será calculada por:

$$\mathbf{S_g} \cong \frac{\mathbf{S_m}}{0,9}$$

Agora que já vimos como calcular a secção e o número de espiras por *Volt*, vamos saber que bitola deverá ter nosso fio. Para encontrarmos essa bitola, basta aplicarmos a fórmula a seguir:

$$\mathbf{d} = \sqrt{\frac{\mathbf{I}}{\delta}} \quad \text{em que: } \mathbf{d} = \text{diâmetro do fio em mm}$$

\mathbf{I} = corrente dos enrolamentos
 δ = densidade de corrente, em ampère, por mm²

A densidade de corrente em ampère é dada pela tabela a seguir:

Potência de trafo (W)	Densidade da corrente (δ)
Até 50W	3,5 A/mm ²
50 – 100W	2,5 A/mm ²
100 – 500W	2,2 A/mm ²
500 – 1000W	2,0 A/mm ²

Tabela 1

A finalidade de se definir a densidade de corrente em relação à potência do trafo é para se evitar um aquecimento excessivo do mesmo.

Cálculo de um Transformador

Dados:

$$V_{peFicaz} = 127V$$

$$V_{seFicaz} = 6V$$

$$I_s = 0,5A$$

Desenho do trafo:

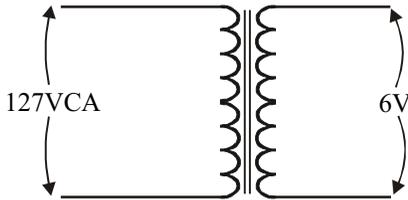


Figura 8

Primeiro vamos calcular a potência do transformador:

$$P_{strafo} = V_{peFicaz} \times I_s$$

$$P_{strafo} = 6 \times 0,5 = 3W$$

$$Potência\ adotada = P_{strafo} + 10\% = 3,3W$$

→ utilizamos um valor 10% maior prevendo perdas no núcleo

Agora vamos calcular a seção magnética:

$$S_m \cong 7 \sqrt{\frac{P}{F}}$$

$$S_m \cong 7 \sqrt{\frac{3,3}{60}}$$

$$S_m \cong 1,64\text{ cm}^2$$

Vamos calcular o número de espiras por *Volt*:

$$N = \frac{10^8}{4,44 \times B \times S \times F}$$

$$N = \frac{100.000.000}{4,44 \times 8.000 \times 1,57 \times 60}$$

$$N = \frac{100.000.000}{3345.984}$$

$N = 29,88 \cong 29,9$ espiras por Volt.

Agora encontraremos o número de espiras para cada enrolamento:

$N_s = 127 \times 29,9 = 3.797$ espiras no primário

$N_s = 6 \times 29,9 = 179,4$ espiras no secundário

Agora encontraremos a bitola do fio a ser utilizado em cada enrolamento. Para isto vamos à equação a seguir para calcular o fio do secundário:

$$d = \sqrt{\frac{I}{\delta}}$$

em que: d = diâmetro do fio (mm)
 I = corrente no secundário
 δ = densidade de corrente

$$d = \sqrt{\frac{0,5}{3,5}} \rightarrow \text{como a potência é menor do que } 50W, \text{ veja a Tabela 1}$$

$d = 0,3779 \cong 0,38$ mm que equivale ao fio n°. 26 AWG (veja a Tabela 3 no final deste capítulo), que tem secção $S_{\text{fio}} = 0,129 \text{ mm}^2$.

Agora encontraremos o fio a ser utilizado no primário, para isto basta fazer o seguinte:

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

$$\frac{127}{6} = \frac{0,5}{I_p}$$

$$I_p = \frac{6 \times 0,5}{127} = 0,0233A$$

$$d = \sqrt{\frac{0,0233}{3,5}}$$

$d = 0,0816$ mm que equivale ao fio nº. **39 AWG**, (veja a **Tabela 3**) **Sfio = 0,0064 mm²** .

Agora calcularemos a seção geométrica do núcleo:

$$S_g = \frac{S_m}{0,9} = \frac{1,64 \text{ cm}^2}{0,9} = 1,823 \text{ cm}^2 \text{ ou } S_g = A \times B$$

Usando-se núcleos de lâminas “E” e “I” de ferro silício esmaltado padronizados, de acordo com a **Tabela 2**, e sabendo que **Sg = A x B**, adotaremos as lâminas para o **núcleo nº. 01**.

Veja as figuras 9 e 10, para uma melhor compreensão:

Lâminas padronizadas			
Nº.	A cm	Seção da janela mm ²	Peso do núcleo kg/cm
0	1,5	168	0,095
1	2	300	0,170
2	2,5	468	0,273
3	3	675	0,380
4	3,5	900	0,516
5	4	1200	0,674
6	5	1880	1,053

Tabela 2

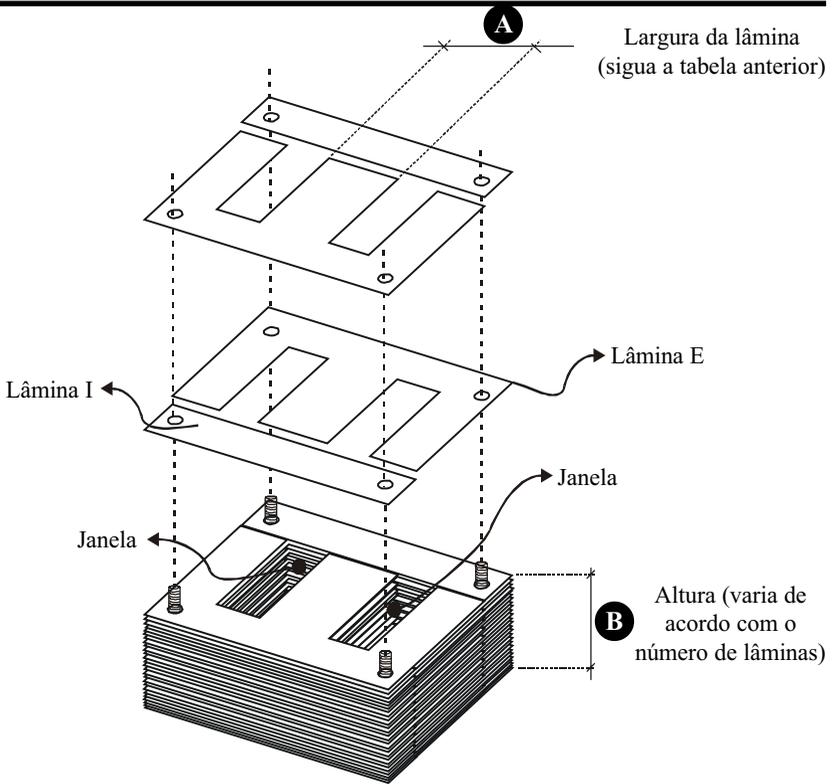
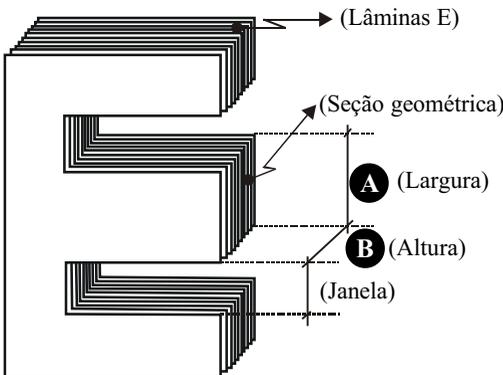


Figura 9

Sabemos que a secção geométrica é o produto de **A** e **B**, ou seja, da *largura* de **A** pela quantidade de lâminas que dá a *altura* **B**. Para termos noção de **A** e **B**, basta tirar a raiz quadrada da **Sg** calculada.



Como a secção geométrica calculada é de $1,823 \text{ cm}^2$, podemos escolher as lâminas nº. 0, que tem uma largura de 1,5 cm e usar uma quantidade de lâminas que dê 1,5 cm de altura de empilhamento.

Obs.:

Ver carretéis padrões (Capítulo 3).

Figura 10

$$S_g = 1,5 \times 1,5 = 2,25 \text{ cm}^2$$

podemos agora rever a secção magnética

$$S_m = S_g \times 0,9 = 2,25 \times 0,9$$

$$S_m = 2,025 \text{ cm}^2$$

Com esse núcleo conseguimos uma secção magnética próxima aos cálculos, o que permite montar o transformador.

Para termos certeza disso, basta calcular as secções dos enrolamentos, somá-las e verificar se cabem na janela das *lâminas* 0, veja:

$$\text{Senrolamentos} = (N_p \times S_{fio}) + (N_s \times S_{fio})$$

$$\text{Senrolamentos} = (3,797 \times 0,0064) + (179,4 \times 0,129)$$

$$\text{Senrolamentos} = 24,3 \text{ mm}^2 + 23,09 \text{ mm}^2$$

$$\text{Senrolamentos} = 47,39 \text{ mm}^2$$

Pode-se perceber que a secção do cobre enrolado do primário é quase igual ao do secundário, o que demonstra que a potência nos dois enrolamentos é praticamente igual.

Agora, sim, podemos ver se o trafo pode realmente ser montado e se os enrolamentos cabem na janela.

Olhando a tabela de lâminas padronizadas, vemos que as *lâminas* de n°. 0 têm uma janela com secção de **168 mm²**. Aplicando a relação:

$$\frac{S_{\text{janela}}}{\text{Senrolamentos}} = \frac{168 \text{ mm}^2}{47,39 \text{ mm}^2} = 3,54$$

Como **3,54** é *maior* do que **3**, podemos montar o trafo. Caso o resultado fosse *menor* do que **3**, deveríamos usar outro núcleo.

Tabela de equivalências e escala de fios

Ø (mm) nominal	Ø com isolação (mm)		Estraga por cm		Espiras por cm ²		Metros por Kg		Kg por Km		Resistência por Km (ohms)	Resist. P _g (ohms)		R	Capacidade 2A mm ²	de 3A mm ²	Corrente de 4A mm ²	N ^o AWG
	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R		S	R					
3,260	8,350	xx	3,380	xx	2,97	xx	8,84	xx	13,349	xx	74,914	xx	0,028	0,028	16,685	25,028	32,360	8
2,910	6,650	xx	3,020	xx	3,33	xx	11,10	xx	16,741	xx	59,735	2,584	0,044	0,044	13,295	19,943	26,590	9
2,990	5,270	xx	2,690	xx	3,73	xx	13,92	xx	21,113	xx	47,364	3,274	0,069	0,069	10,532	15,798	21,064	10
2,900	4,150	xx	2,410	xx	4,18	xx	17,48	xx	26,516	xx	37,709	4,152	0,111	0,111	8,305	12,458	16,610	11
2,950	3,300	xx	2,150	xx	4,68	xx	21,92	xx	33,639	xx	29,728	5,226	0,176	0,176	6,998	9,897	13,196	12
1,830	2,630	xx	1,920	xx	5,24	xx	27,41	xx	42,571	xx	23,713	6,558	0,277	0,277	7,887	10,516	13	
1,630	2,090	1,690	1,730	5,96	5,82	35,56	33,92	53,413	54,088	18,722	18,837	8,266	0,442	0,439	4,171	6,257	8,342	14
1,450	1,650	1,510	1,550	6,68	6,52	44,88	42,50	67,455	67,006	14,825	14,924	10,446	0,705	0,700	3,301	4,852	6,602	15
1,290	1,310	1,360	1,390	7,50	7,29	56,20	53,13	85,189	84,543	11,738	11,832	13,198	1,124	1,115	2,613	3,919	5,226	16
1,150	1,040	1,210	1,240	8,39	8,15	70,38	66,42	107,100	106,197	9,337	9,416	16,607	1,779	1,764	2,076	3,115	4,152	17
1,020	0,820	1,080	1,110	9,41	9,13	88,67	83,40	136,078	134,744	7,348	7,421	21,111	2,673	2,645	1,833	2,450	3,266	18
0,812	0,650	0,963	0,993	10,56	10,19	111,51	103,92	170,746	169,025	5,846	5,916	26,407	4,509	4,464	1,306	1,959	2,612	19
0,813	0,515	0,861	0,892	11,79	11,42	139,06	130,33	215,343	213,053	4,643	4,693	33,232	7,157	7,081	1,038	1,556	2,076	20
0,724	0,407	0,770	0,798	13,26	12,79	175,90	163,53	272,111	269,061	3,675	3,717	41,899	11,401	11,272	0,823	1,235	1,646	21
0,643	0,322	0,686	0,714	14,86	14,33	220,80	205,25	344,083	339,888	2,906	2,942	53,131	18,283	18,059	0,649	0,974	1,298	22
0,574	0,255	0,617	0,643	16,61	15,92	275,84	253,61	433,408	427,459	2,307	2,339	66,671	26,899	26,504	0,517	0,776	1,034	23
0,511	0,204	0,551	0,577	18,59	17,91	345,54	317,20	540,662	532,648	1,849	1,877	84,432	45,664	44,982	0,408	0,613	0,816	24
0,455	0,163	0,483	0,516	20,83	19,88	434,03	395,26	678,263	667,385	1,474	1,498	106,557	72,291	71,132	0,324	0,485	0,648	25
0,404	0,129	0,439	0,462	23,31	22,27	543,49	498,03	855,891	840,448	1,168	1,190	134,500	115,231	113,101	0,256	0,364	0,512	26
0,361	0,102	0,396	0,417	26,11	24,75	682,13	612,75	1,074,707	1,055,470	0,930	0,947	169,528	182,288	179,016	0,203	0,305	0,406	27
0,320	0,080	0,366	0,373	29,18	27,47	849,20	756,29	1,359,262	1,331,858	0,735	0,750	214,440	231,755	228,920	0,161	0,241	0,322	28
0,287	0,065	0,320	0,338	32,47	30,45	1,054,85	930,23	1,707,732	1,679,440	0,595	0,598	286,476	455,155	446,612	0,129	0,184	0,258	29
0,256	0,040	0,284	0,274	40,98	38,17	1,680,67	1,457,73	2,708,323	2,640,961	0,369	0,379	429,950	731,182	715,821	0,091	0,152	0,202	30
0,203	0,032	0,231	0,249	45,25	42,37	2,049,18	1,798,56	3,408,482	3,326,153	0,293	0,300	533,777	1,821,765	1,779,257	0,085	0,097	0,130	32
0,180	0,025	0,206	0,224	51,02	47,39	2,604,17	2,297,19	4,298,201	4,172,284	0,233	0,239	678,760	2,913,219	2,840,084	0,051	0,076	0,102	33
0,160	0,020	0,183	0,198	58,82	53,19	3,236,25	2,832,86	5,416,297	5,287,900	0,184	0,189	857,761	4,661,745	4,538,410	0,040	0,060	0,080	34
0,142	0,016	0,163	0,178	66,52	59,52	4,166,67	3,546,10	6,795,648	6,601,924	0,147	0,151	1,091,203	7,423,150	7,226,510	0,032	0,047	0,064	35
0,127	0,013	0,147	0,160	71,43	66,67	5,102,44	4,444,44	8,593,175	8,365,471	0,116	0,120	1,368,333	11,795,974	11,402,775	0,025	0,038	0,050	36
0,114	0,010	0,132	0,145	80,00	72,99	6,410,26	5,347,59	10,851,636	10,533,810	0,092	0,095	1,690,294	18,372,761	18,002,205	0,020	0,031	0,040	37
0,102	0,009	0,114	0,126	89,29	81,97	8,000,00	6,756,76	13,530,152	13,130,939	0,073	0,076	2,102,561	26,802,290	27,665,276	0,016	0,025	0,032	38
0,089	0,0064	0,104	0,114	104,17	94,34	10,869,57	8,928,57	17,127,100	16,570,283	0,058	0,060	2,760,806	47,944,931	46,346,767	0,012	0,019	0,024	39
0,079	0,0050	0,084	0,102	116,28	104,17	13,698,63	10,869,57	21,599,413	20,872,905	0,046	0,037	3,818,571	76,490,674	73,303,563	0,010	0,015	0,020	40
0,071	0,0040	0,044	0,091	126,58	114,94	16,129,03	13,333,33	27,598,867	26,598,867	0,039	0,030	4,472,769	122,796,139	119,450,243	0,009	0,013	0,018	41
0,063	0,0031	0,066	0,081	140,85	131,58	20,000,00	17,543,86	34,793,593	33,815,772	0,029	0,023	5,887,813	185,786,655	179,583,767	0,008	0,009	0,012	42
0,056	0,0025	0,066	0,074	158,73	147,06	25,841,03	21,739,13	44,056,745	42,430,414	0,022	0,018	7,183,750	326,534,091	312,336,857	0,006	0,007	0,010	43
0,051	0,0020	0,061	0,069	178,57	159,73	32,528,06	25,641,03	55,361,789	52,739,834	0,018	0,014	8,620,500	478,916,667	463,710,520	0,004	0,006	0,008	44

Ø = diâmetro

S = isolação simples

R = isolação reforçada

Tabela 3

Vamos ver mais um exemplo:

→ Construa um trafo com as seguintes características:

Primário – 127/220V

Secundário – 15V x 1 A

– 5V x 1 A

– 6V x 1 A

Vamos desenhar o trafo:

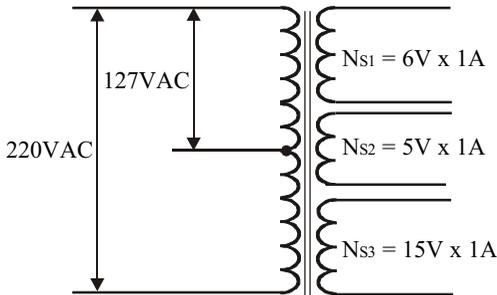


Figura 11

A potência desse trafo será a soma das potências do secundário, mais **10%** relativos às perdas.

$$PS1 = 6 \times 1 = 6W$$

$$PS2 = 5 \times 1 = 5W$$

$$PS3 = 15 \times 1 = 15W$$

$$PT = 6 + 5 + 15 = 26 + 10\%$$

$$PTS = 28,6W \cong 30W$$

Agora vamos encontrar a Sm:

$$Sm = 7 \sqrt{\frac{PTS}{F}}$$

$$Sm = 7 \sqrt{\frac{30}{60}}$$

$$Sm \cong 4,95 \text{ cm}^2$$

Agora a secção geométrica do núcleo:

$$S_g = \frac{S_m}{0,9}$$

$$S_g = \frac{4,95}{0,9} = 5,5 \text{ cm}^2$$

Vamos calcular o núcleo de espiras por *Volt*:

$$N = \frac{10^8}{4,44 \times B \times S_m \times F}$$

$$N = \frac{100.000.000}{\rightarrow 4,44 \times 12.000 \times 4,95 \times 60}$$

→ **Obs.:** utilizamos um valor intermediário entre **8.000** e **14.000** Gauss.

$$N = \frac{100.000.000}{15.824.160}$$

$$N \cong 6,32 \text{ espiras/Volt}$$

Agora calcularemos o núcleo de espiras do enrolamento primário. Para isto usaremos a tensão de **220VAC** e faremos uma *saída* ou *tap* no meio do enrolamento que será a entrada para **127VAC**.

$$N_p = 220 \times 6,32 = 1.390,4 \text{ espiras}$$

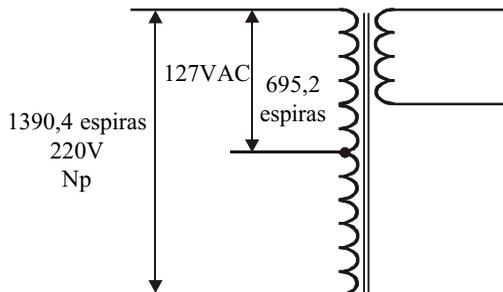


Figura 12

Agora calcularemos as espiras dos enrolamentos secundários:

$$Ns_1 = 6 \times 6,32 = 37,92 \text{ espiras}$$

$$Ns_2 = 5 \times 6,32 = 31,6 \text{ espiras}$$

$$Ns_3 = 15 \times 6,32 = 94,8 \text{ espiras}$$

Vamos calcular a bitola do fio para cada enrolamento. Iniciando pelos secundários. Mas para isso devemos ter a potência do trafo, que já calculamos anteriormente, e observar a **tabela 1**.

$$PT = 30W$$

$$\delta = 3,5^A/mm^2 \text{ para trafo de até } 50W.$$

$$dns_1 = \frac{\sqrt{Ins_1}}{\delta}$$

$$dns_1 = \frac{\sqrt{1}}{3,5}$$

$dns_1 = 0,534 \text{ mm}$ o que equivale, observando a **Tabela 3**, ao fio nº. 23 (secção de $0,255 \text{ mm}^2$) AWG

$$dns_2 = \frac{\sqrt{Ins_2}}{\delta} = 0,534 \text{ mm}$$

Fio nº. 23 AWG (secção de $0,255 \text{ mm}^2$)

$$Dns3 = \frac{\sqrt{Ins_3}}{\delta} = 0,534$$

Fio nº. 23 AwG (secção de $0,255\text{mm}^2$)

Devemos sempre usar um fio com o diâmetro imediatamente maior do que o calculado. A secção do fio será importante para calcularmos a secção dos enrolamentos para ver se eles cabem no núcleo. Para verificar isso, consulte a **tabela 3**.

Vamos ver agora, o fio do primário:

Como temos vários secundários e presumimos que a potência deles é igual à do primário, (levando-se em conta **10%** de perdas) vamos usar a equação:

$$P_T = V_p \times I_p$$

$$30 = 127 \times I_p$$

→ temos de usar 127VAC, pois é neste caso que circulará mais corrente pelo enrolamento.

$$I_p = \frac{30}{127}$$

$$I_p = 0,236 \text{ A}$$

$$d_p = \sqrt{\frac{I_p}{\delta}}$$

$$d_p = \sqrt{\frac{0,236}{3,5}}$$

$d_p = 0,26 \text{ mm}$ o que equivale, veja a **tabela 3**, ao **fio n°. 29 AWG** (secção de **0,065 mm²**).

Calculemos, então, a secção geométrica do núcleo, e ver que lâmina deveremos usar observando a **tabela 2**.

$$S_g = \frac{S_m}{0,9} \quad \text{ou} \quad S_g = A \times B$$

$$S_g = \frac{4,95}{0,9} = 5,5 \text{ cm}^2$$

Com a **tabela 2** escolheremos o núcleo sabendo que **A x B** deve ser maior ou igual a **Sg**.

$$Sg = A \times B$$

$$Sg = 2,5 \times 2,5$$

$$Sg = 6,25 \text{ cm}^2$$

→ **Lâmina 02 da tabela 2**

→ **Altura B** (para termos noção de que valor utilizar, basta tirarmos a raiz quadrada da Sg calculada. **Exemplo:** $\sqrt{6,25} = 2,5 \text{ cm}$.
Percebemos que teremos de usar uma lâmina com mais de **2,346 cm** de largura e colocar lâminas até termos uma altura superior a **2,346 cm**.)

Vamos agora rever a secção magnética:

$$S_m = S_g \times 0,9$$

$$S_m = 6,25 \times 0,9$$

$$S_m = 5,625 \text{ cm}^2$$

Com esse núcleo conseguimos uma secção magnética maior do que a calculada, e isto nos permite construir o trafo. Mas para termos certeza disto, basta calcular as secções dos enrolamentos, somá-los, e verificar se cabem na janela das **lâminas 02**, veja a seguir:

$$\text{Senrolamentos} = (N_p \times S_{fio}) + (N_{s_1} \times S_{fio}) + (N_{s_2} \times S_{fio}) + (N_{s_3} \times S_{fio})$$

$$\text{Senrolamentos} = (1390,4 \times 0,065) + (37,92 \times 0,255) + (31,6 \times 0,255) + (94,8 \times 0,255)$$

$$\text{Senrolamentos} = 90,376 \text{ mm}^2 + 9,7 \text{ mm}^2 + 8,06 \text{ mm}^2 + 24,2 \text{ mm}^2$$

$$\text{Senrolamentos} = 132,336 \cong 133 \text{ mm}^2$$

Os enrolamentos primário e secundário não tiveram secções semelhantes, pois usamos a mesma bitola de fio para o primário de **127 VAC** e **220VAC**.

Agora veremos se os enrolamentos caberão na *janela* do núcleo das **lâminas 02**.

A secção das janelas é igual a **468 mm²**, aplicando a relação:

$$\frac{\text{Sjanela}}{\text{Senrolamentos}} = \frac{468 \text{ mm}^2}{133 \text{ mm}^2} = 3,5$$

Como **3,5** é maior do que **3**, podemos montar o trafo. Caso o resultado fosse menor do que **3** teríamos de usar um núcleo maior.

Observações:

Esses cálculos têm alguns de seus valores aproximados e servem para transformadores simples com **2 enrolamentos primários** e no *máximo 3 enrolamentos secundários*.

Transformadores baseados nesses cálculos deram bons resultados quando construídos e testados em aula.

A **tabela 4** é semelhante à **tabela 3**, porém mais simples, mas suficiente para sabermos a secção de um fio a partir do seu *diâmetro* ou **nº. AWG**. A capacidade de corrente nos fios se refere a uma densidade de corrente de **3 A/mm²**.

Número AWG	Diâmetro (mm)	Secção (mm ²)	Número de espiras por cm	Kg por Km	Resistência (ohms/Km)	Capacidade (A)
0000	11,86	107,2			0,158	319
000	10,40	85,3			0,197	240
00	9,226	67,43			0,252	190
0	8,252	53,48			0,317	150
1	7,348	42,41		375	1,40	120
2	6,544	33,63		295	1,50	96
3	5,827	26,67		237	1,63	78
4	5,189	21,15		188	0,80	60
5	4,621	16,77		149	1,01	48
6	4,115	13,30		118	1,27	38
7	3,665	10,55		94	1,70	30
8	3,264	8,36		74	2,03	24
9	2,906	6,63		58,9	2,56	19
10	2,588	5,26		46,8	3,23	15
11	2,305	4,17		32,1	4,07	12
12	2,053	3,31		29,4	5,13	9,5
13	1,828	2,63		23,3	6,49	7,5
14	1,628	2,08	5,6	18,5	8,17	6,0
15	1,450	1,65	6,4	14,7	10,3	4,8
16	1,291	1,31	7,2	11,6	12,9	3,7
17	1,150	1,04	8,4	9,26	16,34	3,2
18	1,024	0,82	9,2	7,3	20,73	2,5
19	0,9116	0,65	10,2	5,79	26,15	2,0
20	0,8118	0,52	11,6	4,61	32,69	1,6
21	0,7230	0,41	12,8	3,64	41,46	1,2
22	0,6438	0,33	14,4	2,89	51,5	0,92
23	0,5733	0,26	16,0	2,29	56,4	0,73
24	0,5106	0,20	18,0	1,82	85,0	0,58
25	0,4547	0,16	20,0	1,44	106,2	0,46
26	0,4049	0,13	22,8	1,14	130,7	0,37
27	0,3606	0,10	25,6	0,91	170,0	0,29
28	0,3211	0,08	28,4	0,72	212,5	0,23
29	0,2859	0,064	32,4	0,57	265,6	0,18
30	0,2546	0,051	35,6	0,45	333,3	0,15
31	0,2268	0,040	39,8	0,36	425,0	0,11
32	0,2019	0,032	44,5	0,28	531,2	0,09
33	0,1798	0,0254	56,0	0,23	669,3	0,072
34	0,1601	0,0201	56,0	0,18	845,8	0,057
35	0,1426	0,0159	62,3	0,14	1069,0	0,045
36	0,1270	0,0127	69,0	0,10	1338,0	0,036
37	0,1131	0,0100	78,0	0,089	1700,0	0,028
38	0,1007	0,0079	82,3	0,070	2152,0	0,022
39	0,0897	0,0063	97,5	0,056	2696,0	0,017
40	0,0799	0,0050	111,0	0,044	3400,0	0,014
41	0,0711	0,0040	126,8	0,035	4250,0	0,011
42	0,0633	0,0032	138,9	0,028	5312,0	0,009
43	0,0564	0,0025	156,4	0,022	6800,0	0,007
44	0,0503	0,0020	169,7	0,018	8500,0	0,005

Para uma densidade de corrente de 3 A/mm² 

Tabela 4

Relações entre as Medidas dos Núcleos

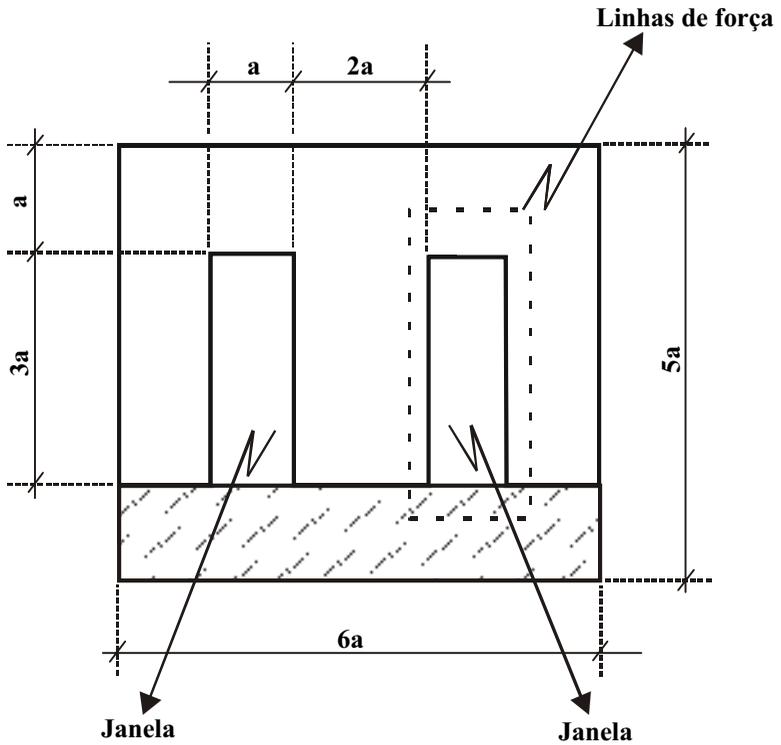


Figura 13

Capítulo 2

Dicas Práticas

Um transformador tem enrolamentos primários e secundários. O primário é a entrada do transformador e o secundário é a saída. Quando o transformador eleva a tensão presente em sua entrada, dizemos que ele é um *transformador “elevador”* de tensão, caso o transformador baixe a tensão da entrada o chamamos de *transformador “abaixador”*.

Quando vamos comprar um transformador, ele provavelmente virá com uma descrição semelhante ao nosso exemplo:

Trafo 127/220V – 12+12 x 500mA

ou

Trafo 12 + 12 x 500mA – 127/220V

Mas o que isto quer dizer?

Isto significa que o primário do transformador pode ser ligado em **110** ou **220V** e que ele tem dois enrolamentos no secundário que fornecem **12 Volts**. Esses dois enrolamentos podem ser um só, com uma *divisão* ou *tap central*, como mostra a figura a seguir:

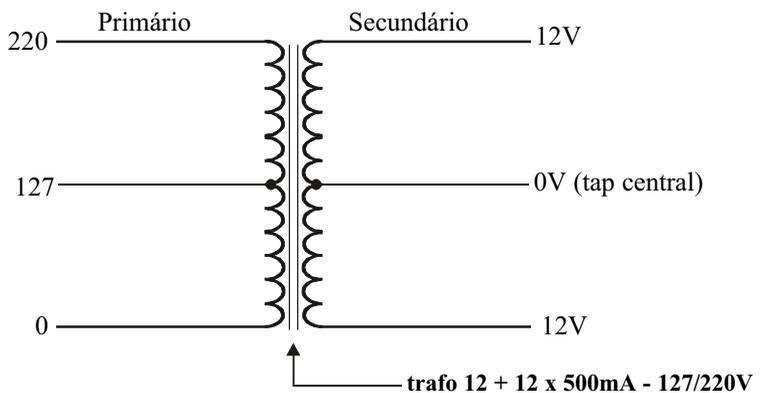


Figura 14

A máxima corrente que o secundário pode fornecer correspondente a **500mA** que é igual a **0,5A**.

Podemos ter outras configurações para transformadores:

→ **Trafo 12V x 1 A – 127V**

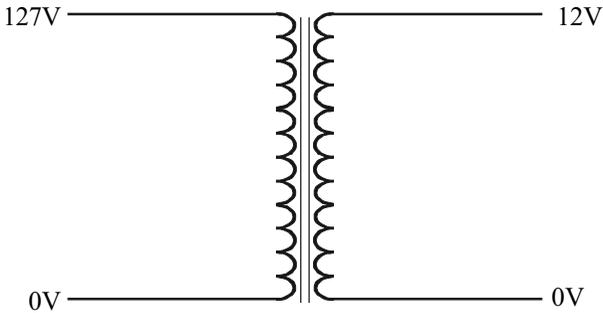


Figura 15

→ **Trafo 9 + 9 x 3 A – 127/220V**

Perceba que sempre que existe (+) o trafo tem um tap central

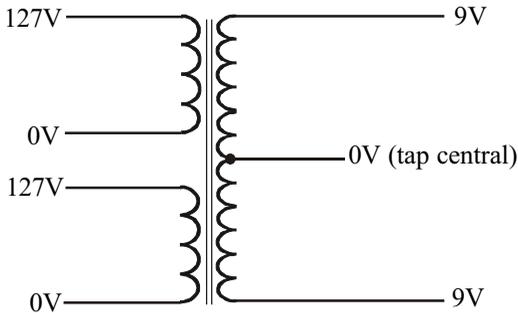


Figura 16

→ **Trafo 9 + 9 x 500mA/25V x 1 A – 127/220V**

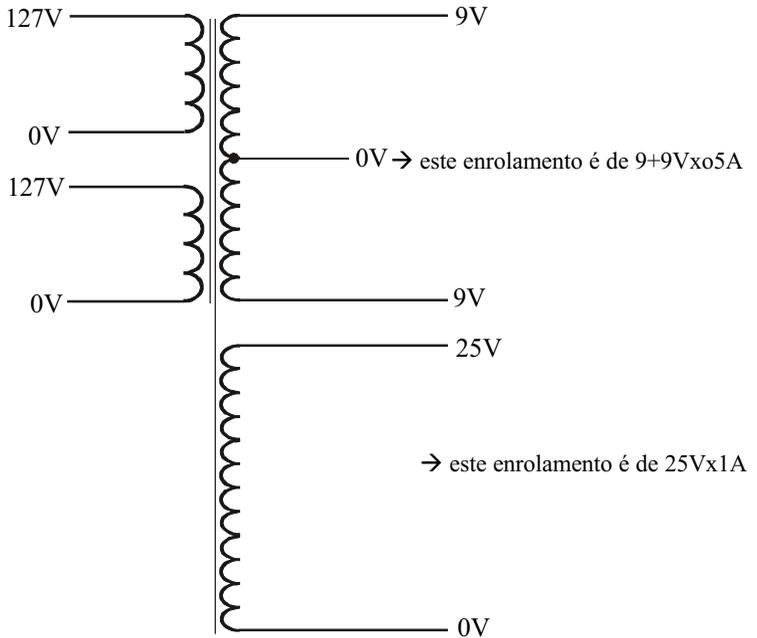


Figura 17

Mas como ligar o enrolamento primário de um *trafo* em **127** ou **220V**?

Assim:

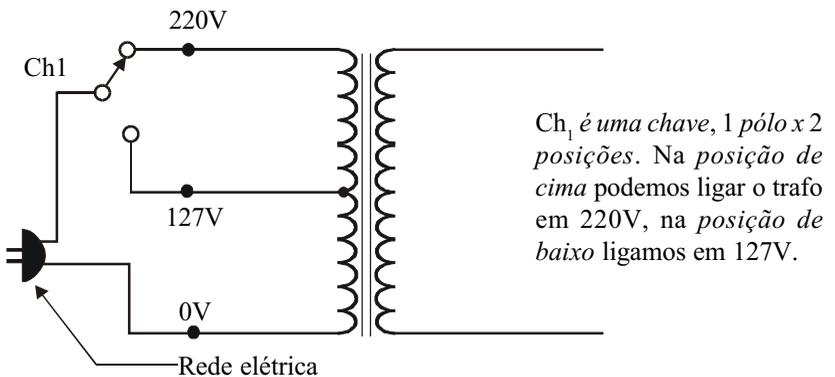


Figura 18

Mas e se o trafo tiver dois enrolamentos primários separados?

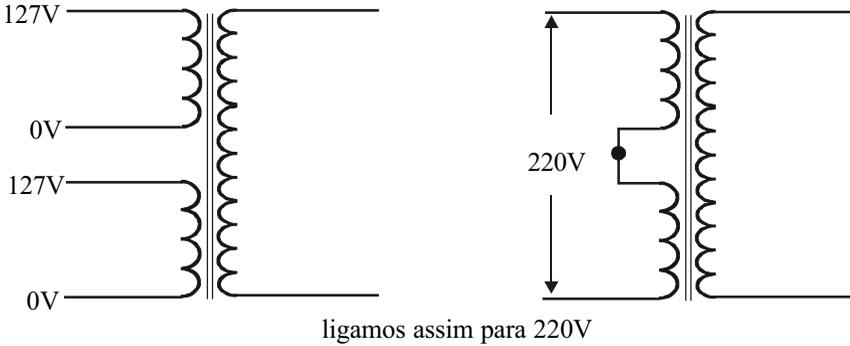


Figura 19

ou assim para 127V

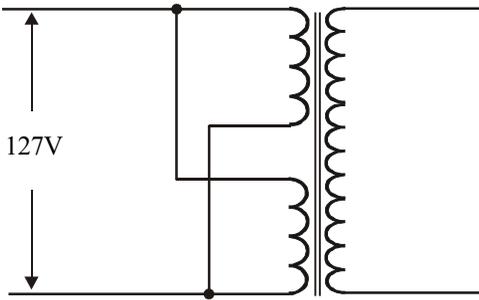
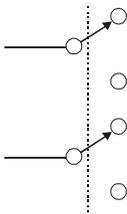


Figura 20

Perceba que para **220V**, ligamos os dois enrolamentos em *série*, e para **127V** ligamos os dois enrolamentos em *paralelo*.

Mas como fazer essa ligação com uma chave?

Para isto precisaremos de uma chave com **2 pólos x 2 posições**.



Uma chave desta terá seis contatos.
A linha tracejada indica que as “duas chaves”
são controladas pelo mesmo eixo ou comando.

Figura 21

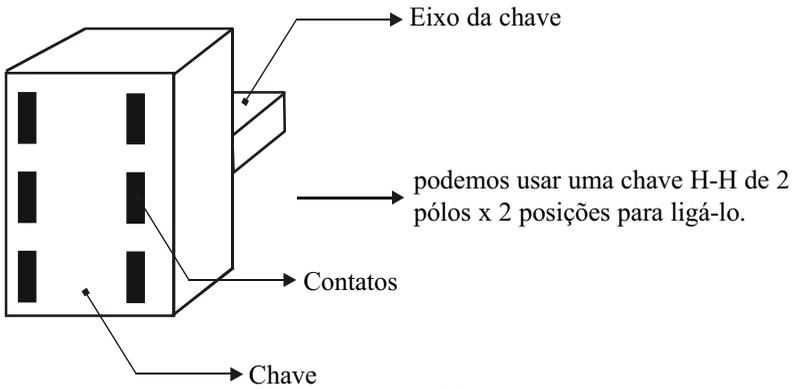


Figura 22

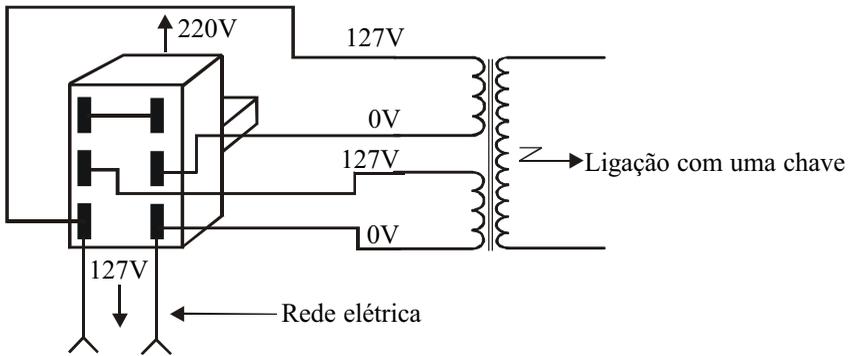


Figura 23

Com essas simples explicações e figuras já apresentadas, percebemos que temos *trafos* de diferentes modelos e para diversos tipos de usos, vejamos mais alguns:

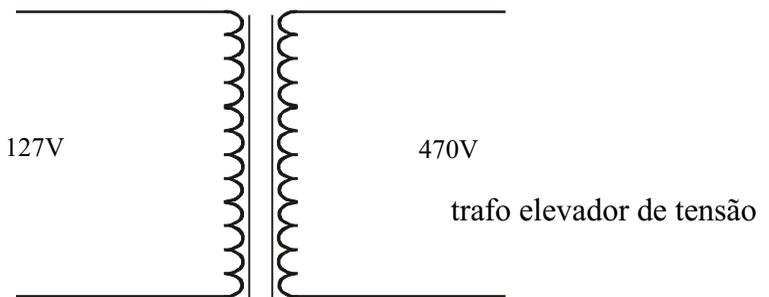


Figura 24

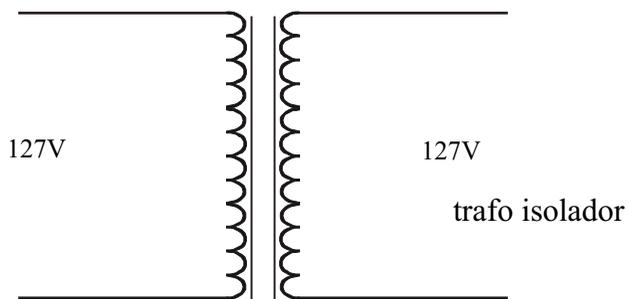


Figura 25

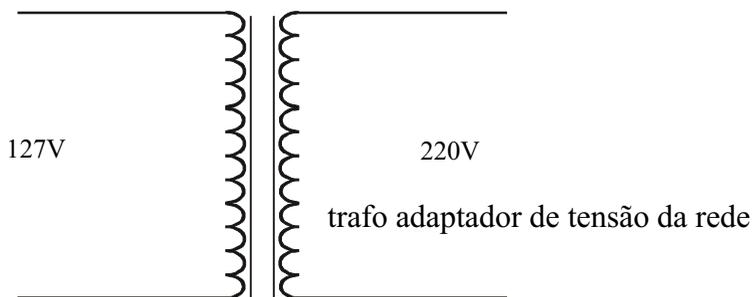


Figura 26

Quando compramos um trafo, os enrolamentos podem estar indicados em sua embalagem, em uma etiqueta no corpo do trafo e alguns, principalmente transformadores com poucos enrolamentos, não têm uma indicação ou descrição muito clara.

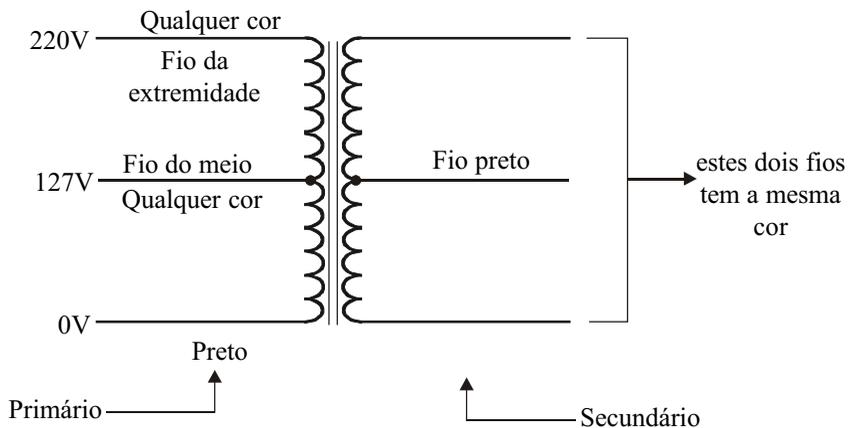


Figura 27

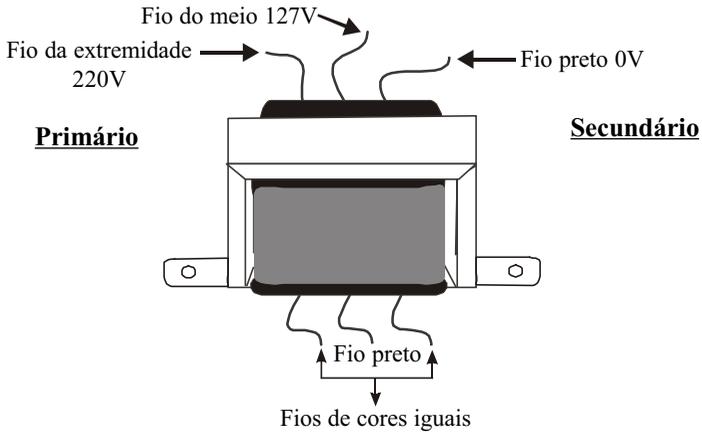


Figura 28

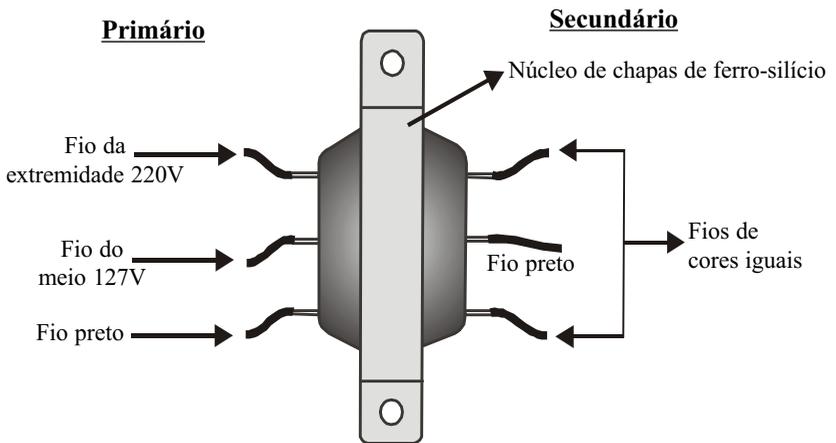


Figura 29

Alguns trafos não tem fios de saídas, mais apresentam alguns terminais para soldagem.

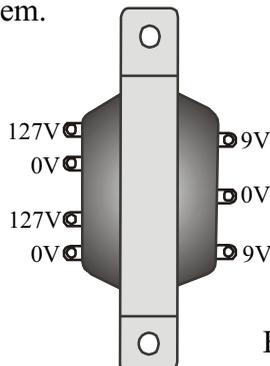


Figura 30

Observação:

→ Nunca podemos ligar o primário de um trafo em contrafase.

Mas o que é isto?

Um trafo com dois enrolamentos no primário pode ser ligado em fase, **127V com 127V e 0V com 0V**, para ligação em **127V**.

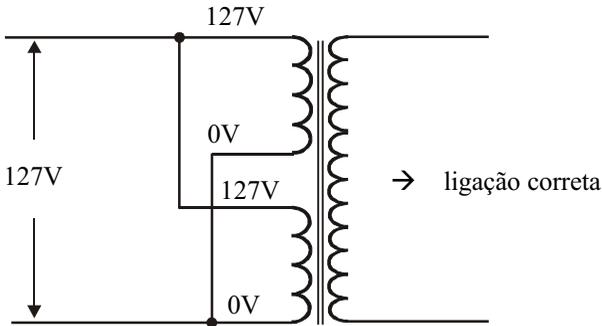


Figura 31

Não podemos ligar assim

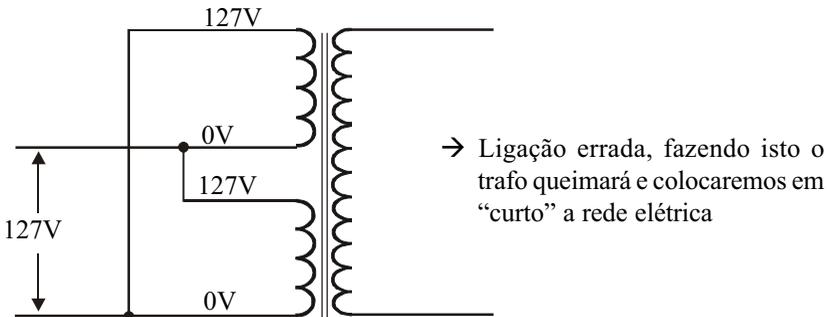


Figura 32

O mesmo conceito deve ser adotado para as ligações em **220V**, veja:

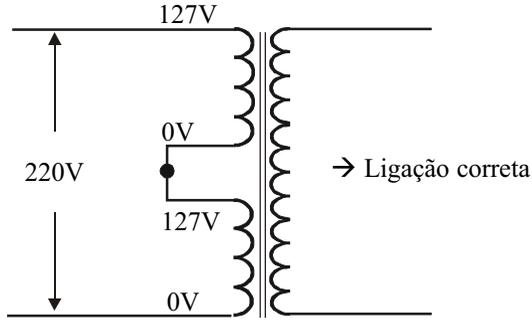


Figura 33

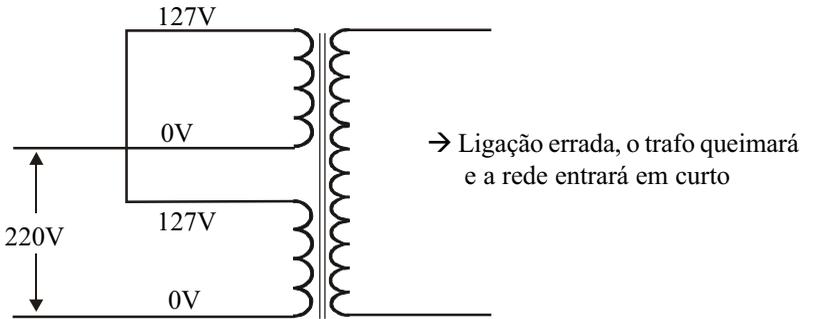


Figura 34

É sempre aconselhável a ligação de um fusível na entrada do trafo para proteção dele e da rede elétrica.

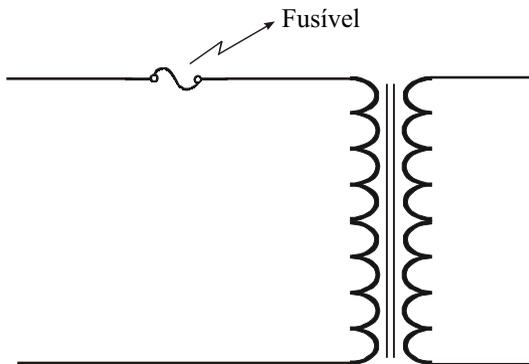


Figura 35

BRANCA

Capítulo 3

Usando Carretéis,

Fazendo os Enrolamentos e Montando o Núcleo

Hoje em dia existem carretéis padrão para a confecção de transformadores de chapas de ferro silício. O ideal é adaptarmos nossos transformadores calculados a estes carretéis, para facilitar a montagem dos trafos.

Neste literatura estaremos trabalhando com *núcleos EI*, a medida para a escolha do tamanho do carretel é feita pela *medida A*, dada pela *tabela 2* (e vista nas *figuras 9 e 10*). A altura ou empilhamento das chapas, que chamamos de *B*, será calculada levando-se em conta a seção geométrica (*Sg*) do núcleo. Devemos adotar um carretel que tenha uma seção geométrica mais próxima da calculada. No exemplo em que dimensionamos um transformador de *127 Volts* de entrada para *6 Volts* de saída e com uma capacidade de corrente de *500mA*, a seção geométrica calculada foi de $1,823 \text{ cm}^2$, mas o carretel padrão, mais próximo que encontramos a isto foi, o de *1,5 cm* por *1,5 cm* o que dá uma seção de $2,25 \text{ cm}^2$. Para preenchermos toda esta seção precisaremos de mais chapas e nosso trafo ficará maior, porém funcionará. Para termos noção do tamanho de *A* basta tirarmos a raiz quadrada da seção geométrica calculada.

Normalmente um carretel que tenha um *A*, que corresponde a largura da “perna” central da *chapa E*, terá um empilhamento mínimo, que chamamos de *B*, igual a este *A*.

Exemplo:

Um carretel com um A de 2 cm terá um empilhamento mínimo de 2 cm .

O núcleo no meio deste carretel será quadrado.

Encontramos carretéis para núcleos de:

**A = 1,5 cm e B = 1,5 ou 2 ou 2,5 ou 3,0 ou 3,5 ou 4 ou 5 cm
ou etc...;**

A = 2,0 cm e B = 2,0 ou 2,5 ou 4 ou 5 ou etc;

A = 2,5 e B = 2,5 e diversos outros tamanhos;

A = 3,0 e B = 3,0 e diversos outros tamanhos.

E assim por diante, lembrando que a *medida B* será dada pelo tamanho do empilhamento das chapas para uma determinada seção geométrica.

Estes são apenas alguns exemplos de carretéis.

Um enrolamento deve ser isolado do outro com um papelão próprio que é vendido em casas que trabalham com materiais para transformadores. Para fixarmos o papelão usamos um verniz apropriado, também vendido em casas que revendem materiais para traços, ou goma laca. Se for usar goma laca, lembre-se que ela pode atacar a isolamento do fio de cobre esmaltado, fazendo com que os fios de um enrolamento entrem em curto.

O traço deve ser envolvido por uma abraçadeira metálica. Tanto a abraçadeira como as chapas de ferro silício são esmaltadas para minimizarem as correntes de *Foucault* e o aquecimento indesejado do traço.

Caso o carretel necessário ou disponível tenha uma seção geométrica maior do que a calculada, podemos colocar mais chapas empilhadas (*umentando B*) para que o núcleo fique bem fixo no carretel. Mas sempre use o menor carretel possível.

Para montar o traço enrolamos primeiro o enrolamento primário

e em seguida o enrolamento secundário (*ou secundários*). Cada enrolamento deve ser isolado por papelão, mesmo os diferentes secundários. Podemos prender o papelão com verniz. Depois de terminados os enrolamentos, devem colocar uma folha de papelão.

Neste ponto seria ideal a ligação de um fio mais grosso e com capa nos fios dos enrolamentos. Estes fios é que seriam as entradas e saídas do trafo. Isto é fundamental quando o fio do enrolamento é bem fino. Depois de feito isto, prende-se com verniz as emendas e colocamos mais uma folha de papelão.

Montamos o núcleo com as *chapas E e I* e, depois de montado, o prendemos com a abraçadeira. A abraçadeira deve ser comprada de acordo com o tamanho do núcleo.

Está pronto o nosso transformador.

Para encontramos os materiais necessários para se enrolar um transformador devemos procurar por casas que vendam transformadores.

O necessário para se enrolar um trafo é:

- fio de cobre esmaltado (normalmente vendido por quilo ou por carretel)
- núcleo de chapas de ferro silício (normalmente vendido por quilo)
- abraçadeira
- papelão (normalmente vendido por folha).
- verniz
- carretel

Podemos indicar dois fornecedores:

Transformadores Líder

Fone: (11) 221-1211

Ficael

Fone: (11) 5667-2022

Porem você pode procurar outros fornecedores, próximos a sua região.

Outras Publicações do Autor Publicadas pela Eltec Editora



Cod. 576
**108 Circuitos
Elétrônicos**



Cod. 591
**Circuito Fechado
de Televisão
CFTV/CCTV**



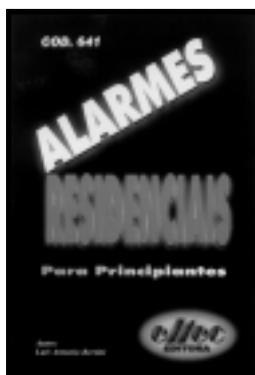
Cod. 600
**Eletricidade e
Instalações Elétricas e
Residenciais**



Cod. 608
**270 Dicas de Consertos
em TV e Som
(Para Principiantes)**



Cod. 632
**Economizando
Energia Elétrica**



Cod. 641
**Alarmes Residenciais
(Para Principiantes)**



Cod. 658
**Dicas de Consertos em
Equipamentos de Som**

Título:

**Transformadores
Teorias, Práticas e Dicas
(para transformadores de pequena potência)**

Autor:

Luiz Antonio Bertini

Copyright©2003 - **Eltec Editora**

ELTEC EDITORA LTDA.

Av. Cel. Sezefredo Fagundes, 452 - Tucuruvi

Cep 02306-001 - São Paulo - SP.

Fone/Fax: (11) 6263-3367

E-mail:eltec@eltec.com.br

Site:www.eltec.com.br

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta edição pode ser utilizada ou reproduzida, por qualquer meio ou forma, seja mecânico, eletrônico, fotocópia, gravação, etc., nem apropriada ou estocada em sistema de banco de dados, sem expressa autorização do editor e do Autor.