

Transformadores, como calcular e construir.

Em 2008, ainda quando lecionava no SENAI de Uberaba - MG, tive o prazer de ministrar uma das disciplinas uma das disciplinas pela qual tenho verdadeira paixão: Máquinas Elétricas.

E um dos trabalhos mais interessantes que desenvolvi com meus alunos na ocasião foi projetar um transformador, uma máquina fantástica, que na minha opinião foi um dos maiores propulsores do desenvolvimento tecnológico e de nossa forma de vida atual. Como engenheiro, tratava-se de uma tarefa relativamente fácil, entretanto como professor eu estava diante de um desafio imenso: Como ensinar um grupo de alunos (a maioria no primeiro ano do segundo grau) a calcular um transformador sem o embasamento teórico de eletromagnetismo e cálculo inerentes a essa máquina elétrica? Então me vi diante do meu maior desafio docente até ali, foi quando iniciei uma extensa pesquisa em livros e na internet sobre o tema, mas os textos sempre eram escritos com enorme rigor matemático e com o uso de física que só é ensinada nos cursos superiores. Já quase desistindo encontrei na internet um texto brilhante na minha concepção, onde o cálculo de transformadores era feito de maneira simples e intuitiva, sem o uso de cálculo de matemática superior, mas com bastante precisão. Com alguns ajustes no texto, as aulas foram um sucesso, os alunos foram divididos em grupos, cada grupo projetou e construiu seu transformador, foram feitos transformadores para diversas tensões e potências, todos foram testados em bancada e sempre com sucesso. Agora só nos resta entrar de vez no mundo dos transformadores e aprender definitivamente como construir essa máquina, vamos então a parte teórica.

Os transformadores ou "trafos" como são popularmente conhecidos no meio técnico são dispositivos elétricos estáticos que têm a finalidade de transmitir energia elétrica em corrente alternada por meio de um campo eletromagnético permitindo com isso ajustar a tensão de entrada da rede com a tensão do aparelho que desejamos ligar, mantendo a mesma frequência da fonte de entrada, além de isolar o circuito primário do circuito secundário.

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

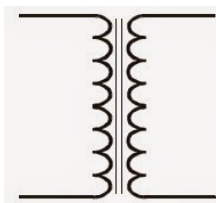
Na prática, isso seria impossível uma vez que parte da potência o transformador perde na forma de calor e também magnetizando suas bobinas, são as correntes de Foucault.

Um transformador é constituído pelo menos por dois enrolamentos. Na maioria dos casos, esses enrolamentos são independentes, unidos somente pela ação do campo eletromagnético, que é mais intenso quanto esses transformadores 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.

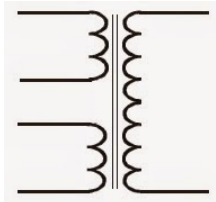
A tensão do secundário depende da relação de espiras entre o primário e o secundário e da tensão aplicada no primário.

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:



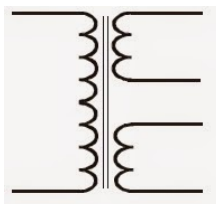
Trafo com núcleo de ferro. Utilizado em fontes convencionais para a isolação de circuitos e para se ter a tensão desejada.

Figura 1



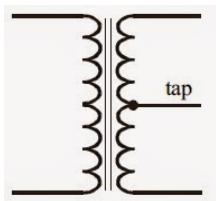
Trafo com núcleo de ferro com dois enrolamentos primários. Utilizado quando há a necessidade da aplicação de diferentes tensões em seu primário, como 127 ou 220VAC.

Figura 2



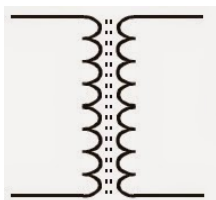
Trafo com núcleo de ferro com dois enrolamentos secundários. Empregado quando são necessárias duas tensões de saída. Exemplo: 15VAC e 5 VAC.

Figura 3



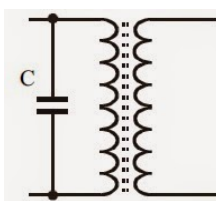
Trafo com centro tap (tomada central ou apenas tap), no secundário. Utilizado quando se deseja trabalhar com retificação em onda completa, porém com apenas dois diodos.

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, isso acontece devido as perdas que citamos acima.

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

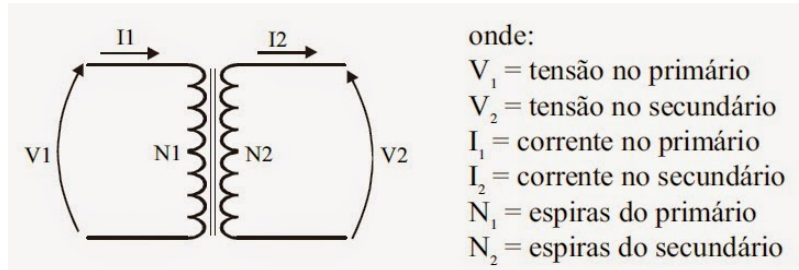
Os núcleos devem ser feitos de chapas de ferro silício, não servindo para o mesmo fim, ferro doce ou outro ferro comum, assim como também não é adequado usar um núcleo de ferro maciço por conta das correntes Foucault.

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 alternada aplicada no primário do transformador teremos uma tensão induzida no secundário.

Dado o esquema de um trafo, teremos:



Em um trafo ideal teremos:

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

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:

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

$P = \text{potências dos secundários somadas}$
 $F = \text{frequência}$

e a secção geométrica será calculada por:

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

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:

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

$I = \text{corrente dos enrolamentos}$
 $\delta = \text{densidade de corrente, em ampère, por mm}^2$

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:



Primeiro vamos calcular a potência do transformador:

P_{trafo} = V_{peficaz} x I_s

P_{trafo} = 6 x 0,5 = 3W

Potência adotada = P_{trafo} + 10% = 3,3W

à utilizamos um valor 10% maior prevendo perdas no núcleo

Agora vamos calcular a secção 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:

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

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

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

$N = 29,88 \approx 29,9$ 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

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

→ como a potência é menor do que **50W**, veja a **Tabela 1**

$d = 0,3779 \approx 0,38$ mm que equivale ao fio nº. 26 AWG (veja a Tabela 3 no final deste capítulo), que tem secção $S_{fio} = 0,129$ mm².

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

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

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

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

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

$d = 0,0816 \text{ mm}$ que equivale ao fio nº. 39 AWG, (veja a Tabela 3) $S_{\text{fio}} = 0,0064 \text{ mm}^2$.

Agora calcularemos a secção geométrica do núcleo:

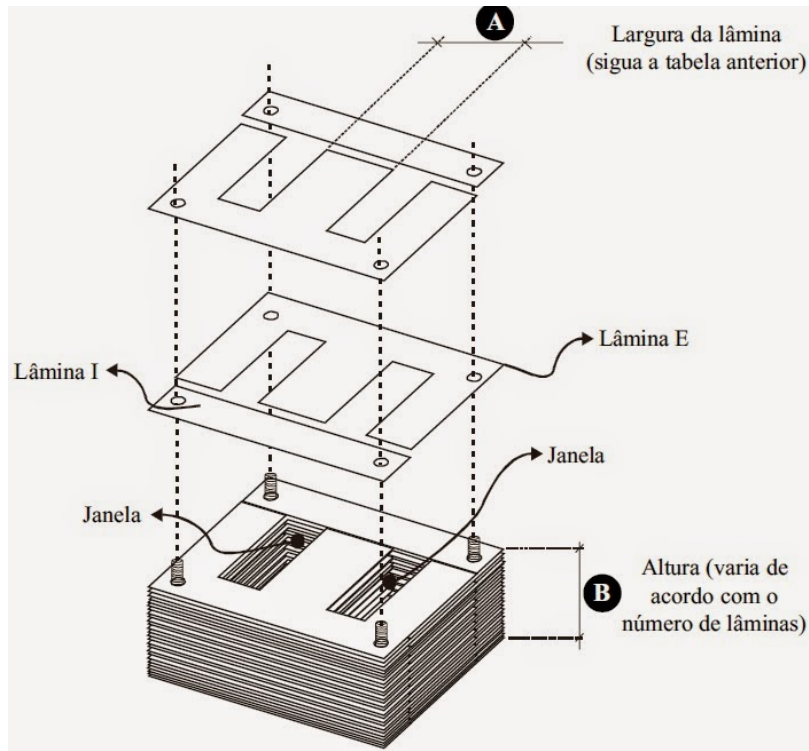
$$S_g = \frac{S_m}{0,9} = \frac{1,64 \text{ cm}^2}{0,9} = 1,823 \text{ cm}^2 \text{ ou } S_g = A \times B$$

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

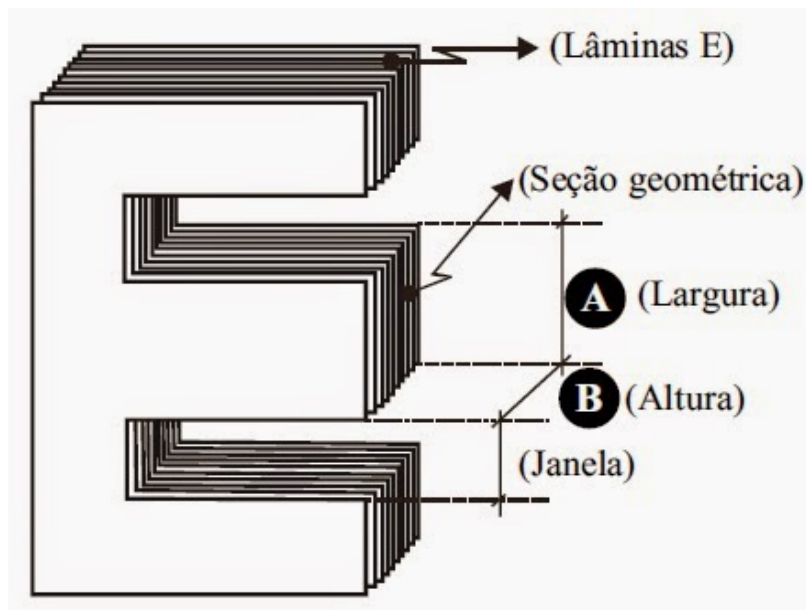
Veja as figuras 9 e 10, para uma melhor compreensão:

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



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 cm², 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

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

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 **nº. 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) normal	Ø com (mm²)		Espaços mm²/cm²		Espaços por cm²		Espaços por cm²		Espaços por cm²		Espaços por cm²		Espaços por cm²		Nº AWG
	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	
3,290	8,360	xx	3,360	xx	2,97	xx	8,84	xx	13,349	xx	74,914	xx	0,026	0,028	8
2,910	6,660	xx	3,020	xx	3,13	xx	11,10	xx	16,741	xx	99,730	2,994	0,044	0,043	9
2,590	5,270	xx	2,690	xx	3,73	xx	13,92	xx	21,113	xx	47,364	3,274	0,069	0,069	10
2,300	4,190	xx	2,410	xx	4,18	xx	17,48	xx	26,516	xx	37,709	4,152	0,111	0,110	11
2,050	3,300	xx	2,150	xx	4,68	xx	21,92	xx	33,639	xx	29,728	5,226	0,176	0,176	12
1,830	2,630	xx	1,930	xx	5,24	xx	27,41	xx	42,171	xx	23,713	6,558	0,279	0,277	13
1,630	2,090	1,690	1,730	5,68	5,62	35,56	33,92	53,413	54,088	18,722	18,837	8,266	0,442	0,439	14
1,450	1,650	1,510	1,550	5,68	6,52	44,68	43,50	67,655	67,006	14,825	14,924	10,446	0,705	0,700	15
1,290	1,310	1,350	1,380	7,50	7,29	56,20	53,13	85,189	84,543	11,788	11,832	13,198	1,124	1,115	16
1,150	1,040	1,110	1,140	8,39	8,15	70,38	66,42	107,100	106,197	9,337	9,416	16,607	1,779	1,764	17
1,020	0,920	0,980	1,010	9,41	9,13	88,67	83,40	136,778	134,744	7,948	7,921	21,111	2,673	2,645	18
0,904	0,820	0,860	0,890	10,56	10,19	111,51	103,62	170,748	169,025	6,846	6,816	26,407	4,509	4,464	19
0,813	0,715	0,761	0,798	11,26	10,79	124,11	115,11	209,061	205,25	5,947	5,917	33,232	7,457	7,381	20
0,724	0,607	0,653	0,690	12,26	11,79	139,06	130,33	215,343	210,593	5,165	5,135	41,888	11,272	11,179	21
0,643	0,526	0,572	0,609	13,26	12,79	154,01	144,28	244,018	238,268	4,474	4,444	50,671	16,283	16,166	22
0,561	0,444	0,490	0,527	14,26	13,79	169,01	158,28	273,023	266,273	3,881	3,851	60,671	23,748	23,611	23
0,485	0,368	0,414	0,451	15,26	14,79	184,01	172,28	302,028	294,278	3,370	3,340	72,671	28,828	28,681	24
0,404	0,287	0,333	0,370	16,26	15,79	199,01	186,28	331,033	322,283	2,959	2,929	84,671	34,913	34,756	25
0,361	0,244	0,290	0,327	17,26	16,79	214,01	200,28	360,038	350,288	2,648	2,618	96,671	41,003	40,836	26
0,320	0,203	0,249	0,286	18,26	17,79	229,01	214,28	389,043	378,293	2,337	2,307	108,671	47,093	46,916	27
0,287	0,166	0,212	0,249	19,26	18,79	244,01	228,28	418,048	406,298	2,026	2,000	120,671	53,183	52,996	28
0,254	0,125	0,171	0,208	20,26	19,79	259,01	242,28	447,053	434,303	1,715	1,689	132,671	59,273	59,076	29
0,226	0,104	0,150	0,187	21,26	20,79	274,01	256,28	476,058	462,308	1,404	1,378	144,671	65,363	65,156	30
0,203	0,082	0,128	0,165	22,26	21,79	289,01	270,28	505,063	490,313	1,093	1,067	156,671	71,453	71,236	31
0,180	0,060	0,106	0,143	23,26	22,79	304,01	284,28	534,068	518,318	0,782	0,756	168,671	77,543	77,316	32
0,160	0,040	0,086	0,123	24,26	23,79	319,01	298,28	563,073	546,323	0,471	0,445	180,671	83,633	83,396	33
0,142	0,016	0,062	0,100	25,26	24,79	334,01	312,28	592,078	574,328	0,160	0,134	192,671	89,723	89,476	34
0,127	0,013	0,049	0,087	26,26	25,79	349,01	326,28	621,083	602,333	0,049	0,049	204,671	95,813	95,566	35
0,114	0,010	0,036	0,074	27,26	26,79	364,01	340,28	650,088	629,338	0,018	0,018	216,671	101,903	101,646	36
0,102	0,007	0,024	0,052	28,26	27,79	379,01	354,28	679,093	657,343	0,007	0,007	228,671	107,993	107,726	37
0,089	0,004	0,011	0,028	29,26	28,79	394,01	369,28	708,098	685,348	0,002	0,002	240,671	114,083	113,816	38
0,079	0,002	0,008	0,019	30,26	29,79	409,01	384,28	737,103	714,353	0,001	0,001	252,671	120,173	119,906	39
0,071	0,001	0,004	0,010	31,26	30,79	424,01	399,28	766,108	742,358	0,000	0,000	264,671	126,263	125,996	40
0,063	0,001	0,001	0,006	32,26	31,79	439,01	414,28	795,113	770,363	0,000	0,000	276,671	132,353	132,086	41
0,056	0,000	0,000	0,000	33,26	32,79	454,01	429,28	824,118	800,368	0,000	0,000	288,671	138,443	138,176	42
0,051	0,000	0,000	0,000	34,26	33,79	469,01	444,28	853,123	828,373	0,000	0,000	300,671	144,533	144,266	43
															44

Ø = diâmetro

S = isolação simples

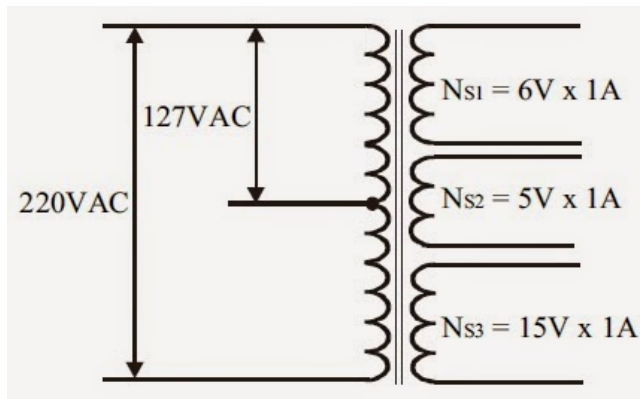
R = isolação reforçada

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:



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

$$\begin{aligned}
 PS1 &= 6 \times 1 = 6W \\
 PS2 &= 5 \times 1 = 5W \\
 PS3 &= 15 \times 1 = 15W \\
 PT &= 6 + 5 + 15 = 26 + 10\% \\
 PTS &= 28,6W \approx 30W
 \end{aligned}$$

Agora vamos encontrar a S_m :

$$\begin{aligned}
 S_m &= 7 \sqrt{\frac{PTS}{F}} \\
 S_m &= 7 \sqrt{\frac{30}{60}} \\
 S_m &\approx 4,95 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Agora a secção geométrica do núcleo:

$$\begin{aligned}
 S_g &= \frac{S_m}{0,9} \\
 S_g &= \frac{4,95}{0,9} = 5,5 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

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.

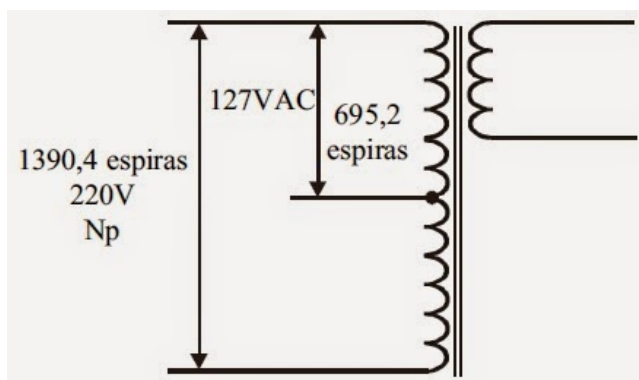
$$N = \frac{100.000.000}{15.824.160}$$

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

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**.

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



Agora calcularemos as espiras dos enrolamentos secundários:

$$N_{s1} = 6 \times 6,32 = 37,92 \text{ espiras}$$

$$N_{s2} = 5 \times 6,32 = 31,6 \text{ espiras}$$

$$N_{s3} = 15 \times 6,32 = 94,8 \text{ espiras}$$

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**.

$$P_T = 30W$$

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

$$d_{ns_1} = \sqrt{\frac{I_{ns_1}}{\delta}}$$

$$d_{ns_1} = \sqrt{\frac{1}{3,5}}$$

$d_{ns1} = 0,534$ mm o que equivale, observando a Tabela 3, ao fio nº. 23 (secção de 0,255 mm²) AWG.

$$d_{ns_2} = \sqrt{\frac{I_{ns_2}}{\delta}} = 0,534 \text{ mm}$$

Fio nº. 23 AWG (secção de 0,255 mm²)

$$D_{ns3} = \sqrt{\frac{I_{ns_3}}{\delta}} = 0,534$$

Fio nº. 23 AwG (secção de 0,255mm²)

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.

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

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

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

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

$d_p = 0,26 \text{ mm}$ o que equivale, veja a **tabela 3**, ao fio nº. 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 $A \times B$ deve ser maior ou igual a S_g .

$$S_g = A \times B$$

$$S_g = 2,5 \times 2,5$$

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

→ **Lâmina 02 da tabela 2**

→ **Altura B** (para termos noção de que valor utilizar, basta tirarmos a raiz quadrada da S_g calculada. **Exemplo:** $\sqrt{5,5} = 2,346 \text{ cm}$. 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:

$$\begin{aligned} \text{Senrolamentos} &= (N_p \times S_{fio}) + (N_{s1} \times S_{fio}) + (N_{s2} \times S_{fio}) + (N_{s3} \times S_{fio}) \\ \text{Senrolamentos} &= (1390,4 \times 0,065) + (37,92 \times 0,255) + (31,6 \times 0,255) + (94,8 \times 0,255) \\ \text{Senrolamentos} &= 90,376 \text{ mm}^2 + 9,7 \text{ mm}^2 + 8,06 \text{ mm}^2 + 24,2 \text{ mm}^2 \\ \text{Senrolamentos} &= 132,336 @ 133 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

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:

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

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.

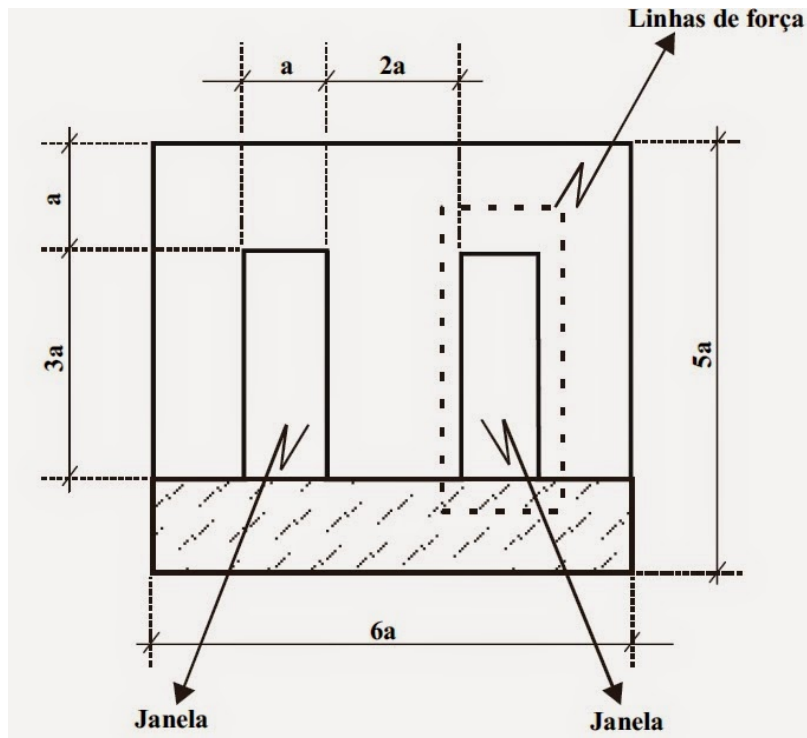
A tabela 4 é semelhante à tabela 3, porém mais simples, mas suficiente para sabermos a secção de um fio a partir do seu diâmetro ou nº. AWG. A capacidade de corrente nos fios se refere a uma densidade de corrente de 3 A/mm².

Número AWG	Diâmetro (mm)	Secção (mm²)	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:



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:

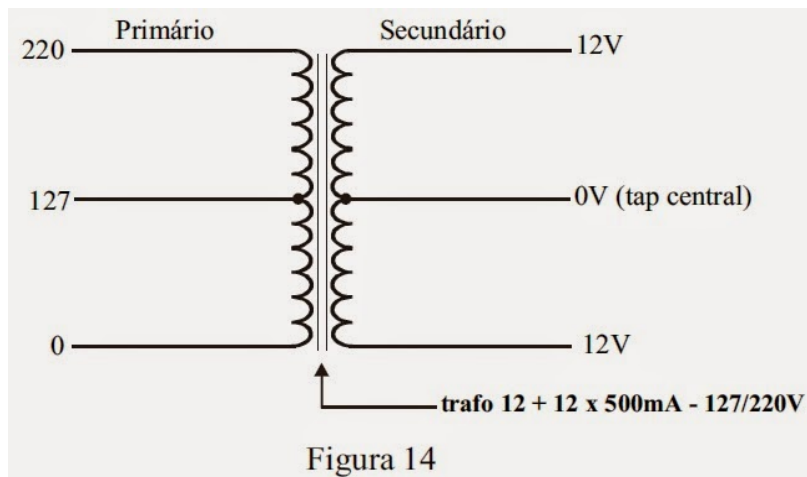
Trafo 127/220V – 12+12 x 500mA

ou

Trafo 12 + 12 x 500mA – 127/220

Mas o que isto quer dizer?

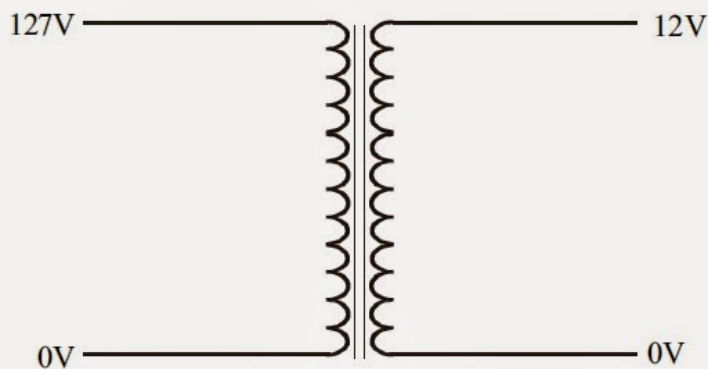
Isto significa que o primário do transformador pode ser ligado em **110V** ou **220V** e que ele tem dois enrolamentos no secundário que fornecem **12 Volts**. Esses dois enrolamentos podem ser um só, com uma divisão ou tap central, como mostra a figura a seguir:



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

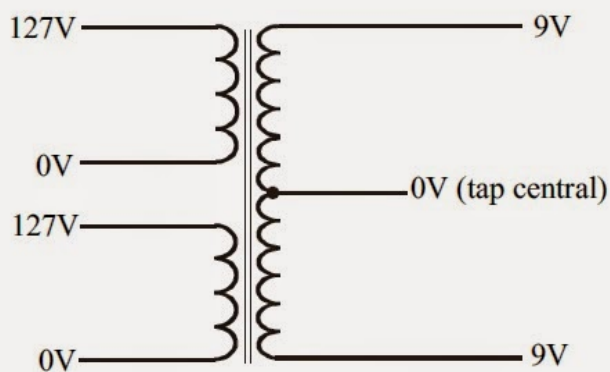
Podemos ter outras configurações para transformadores:

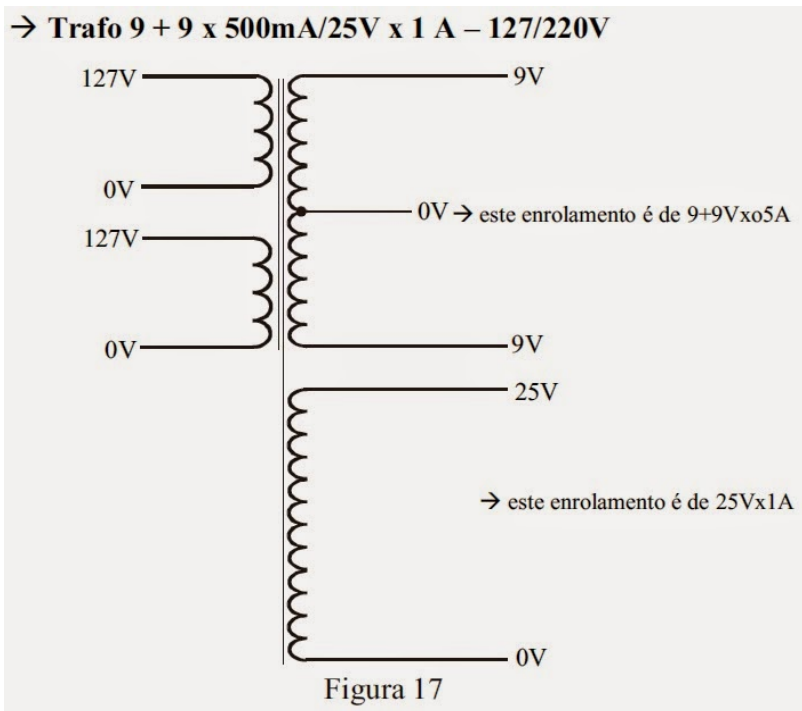
→ Trafo 12V x 1 A – 127V



→ Trafo 9 + 9 x 3 A – 127/220V

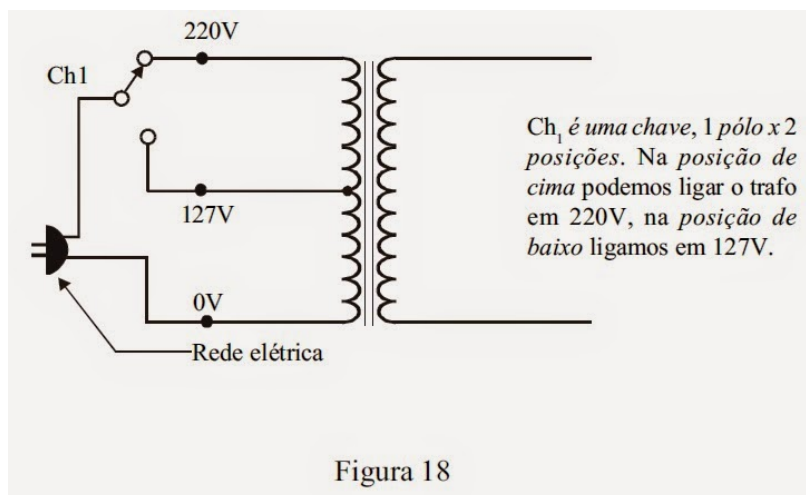
Perceba que sempre que existe (+) o trafo tem um tap central



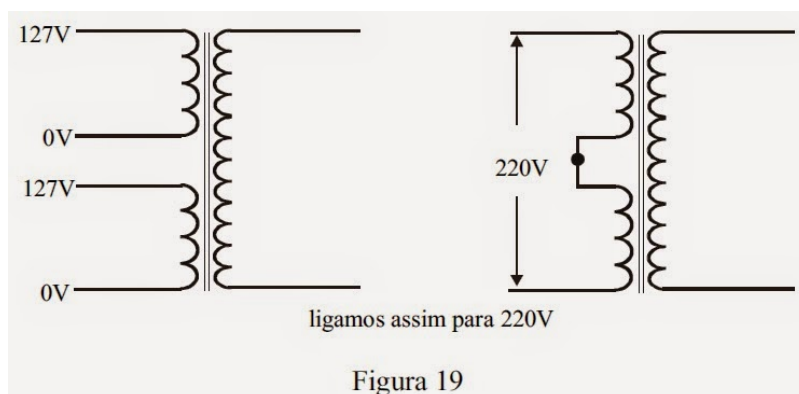


Mas como ligar o enrolamento primário de um trafo em 127 ou 220V?

Assim:



Mas e se o trafo tiver dois enrolamentos primários separados?



ou assim para 127V

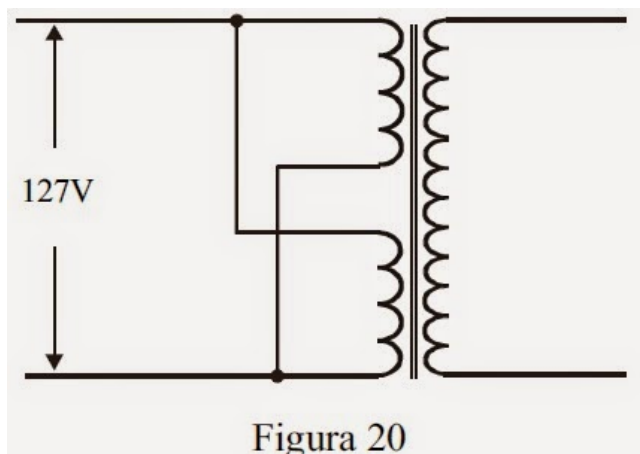


Figura 20

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**.

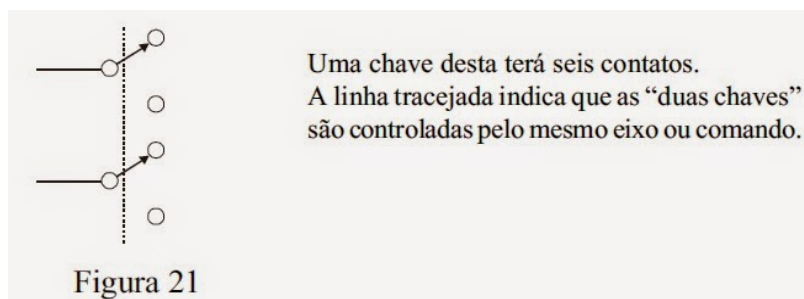


Figura 21

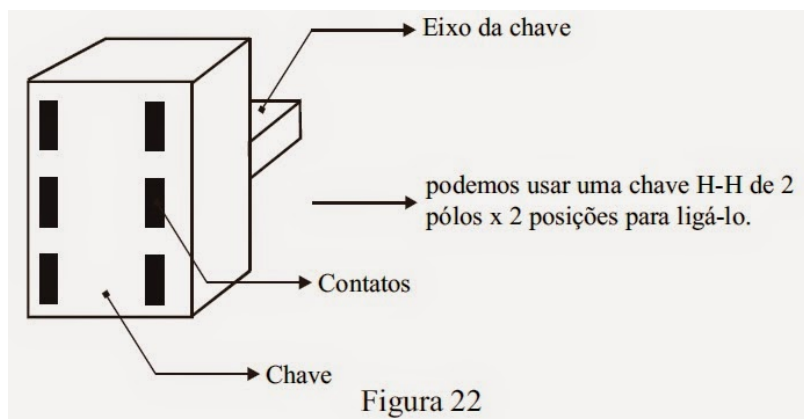


Figura 22

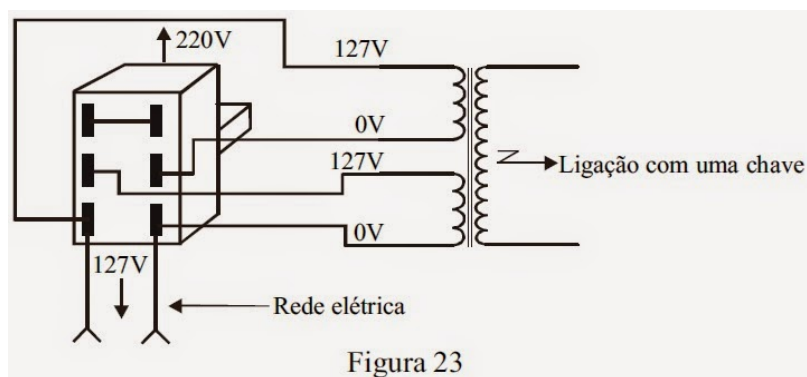
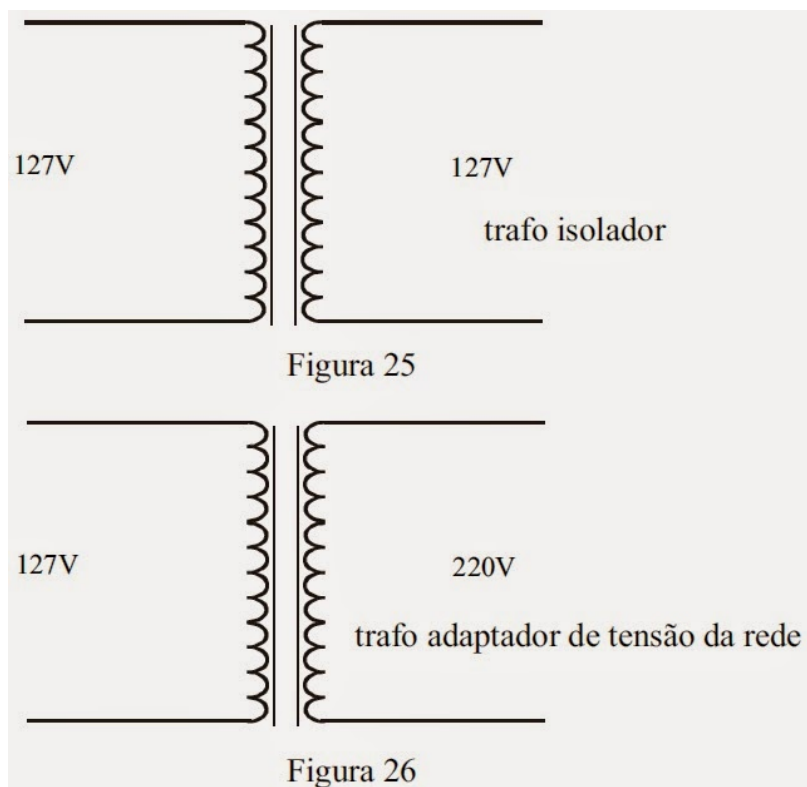
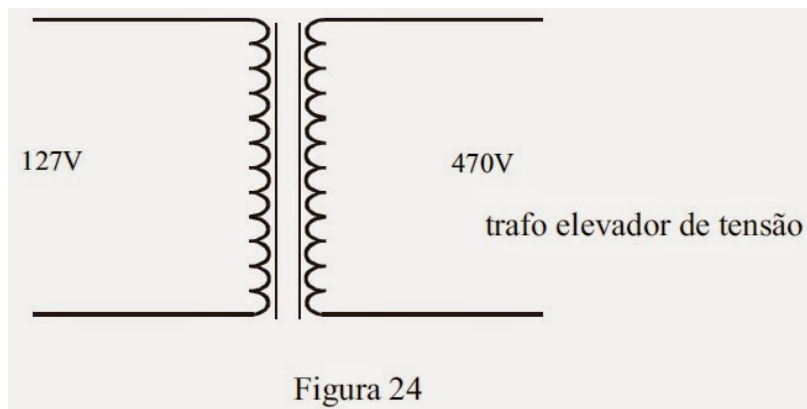


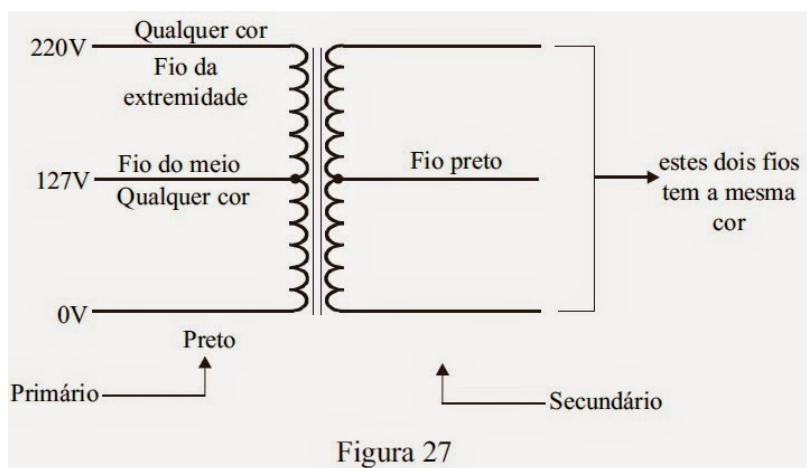
Figura 23

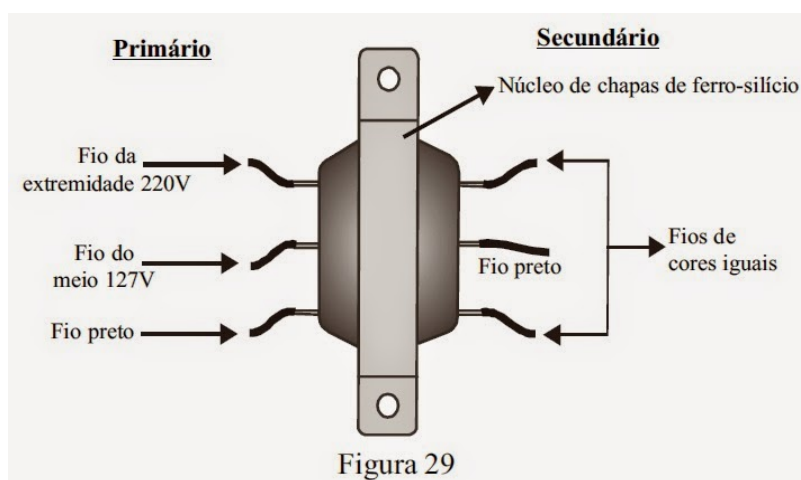
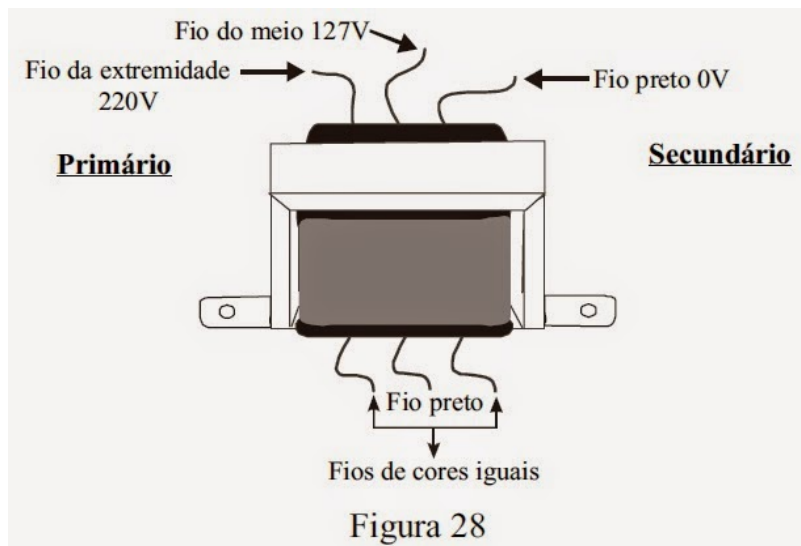
Com essas simples explicações e figuras já apresentadas, percebemos que temos trafos de diferentes modelos e para diversos tipos de usos,

vejam os mais alguns:

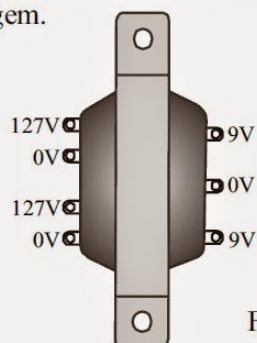


Quando compramos um trafo, os enrolamentos podem estar indicados em sua embalagem, em uma etiqueta no corpo do trafo e alguns, principalmente transformadores com poucos enrolamentos, não têm uma indicação ou descrição muito clara.





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



Observação:

Nunca podemos ligar o primário de um trafa em contrafase. Mas o que é isto? Um trafa com dois enrolamentos no primário pode ser ligado em fase, **127V com 127V** e **0V com 0V**, para ligação em **127V**.

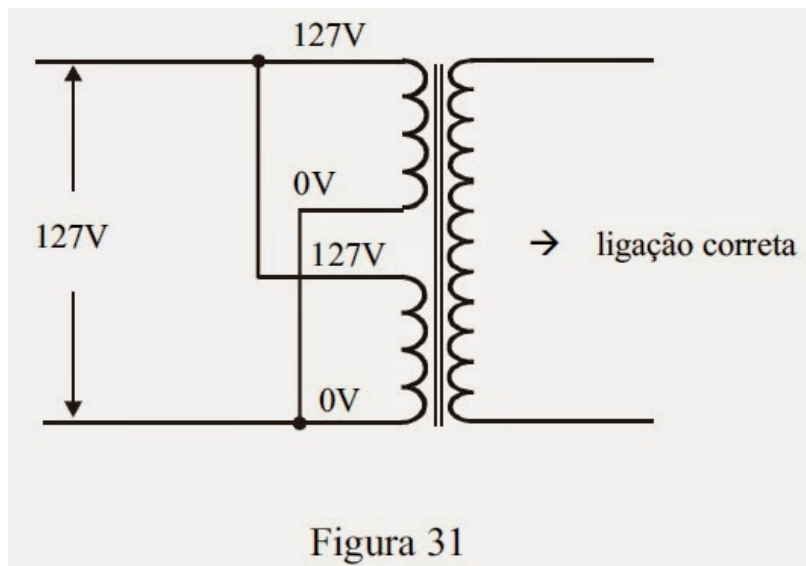


Figura 31

Não podemos ligar assim

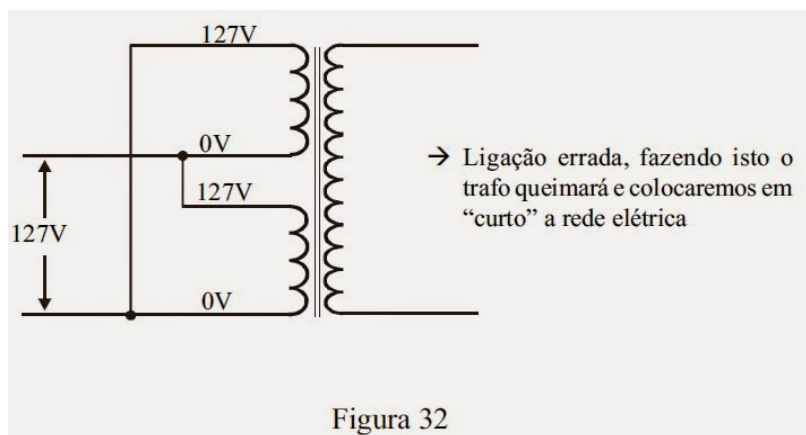


Figura 32

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

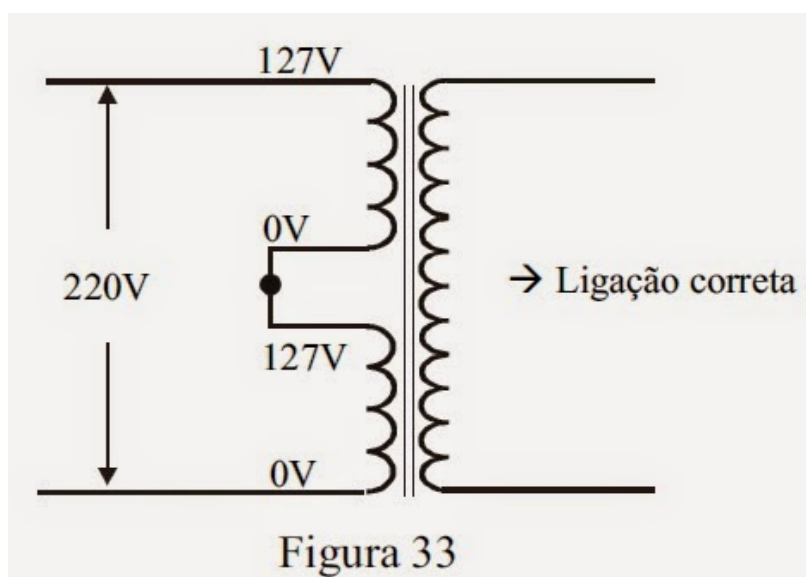
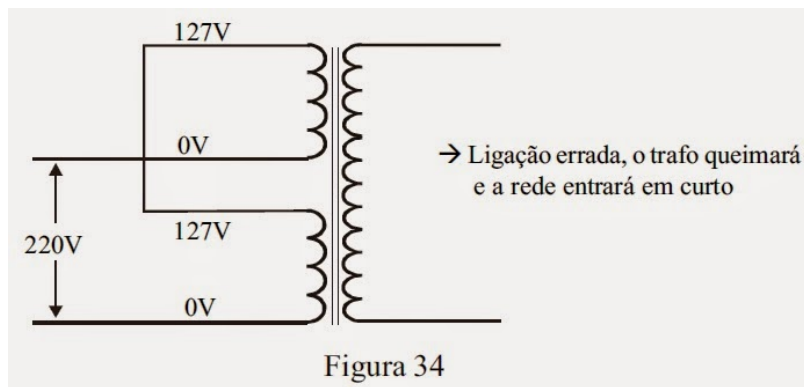
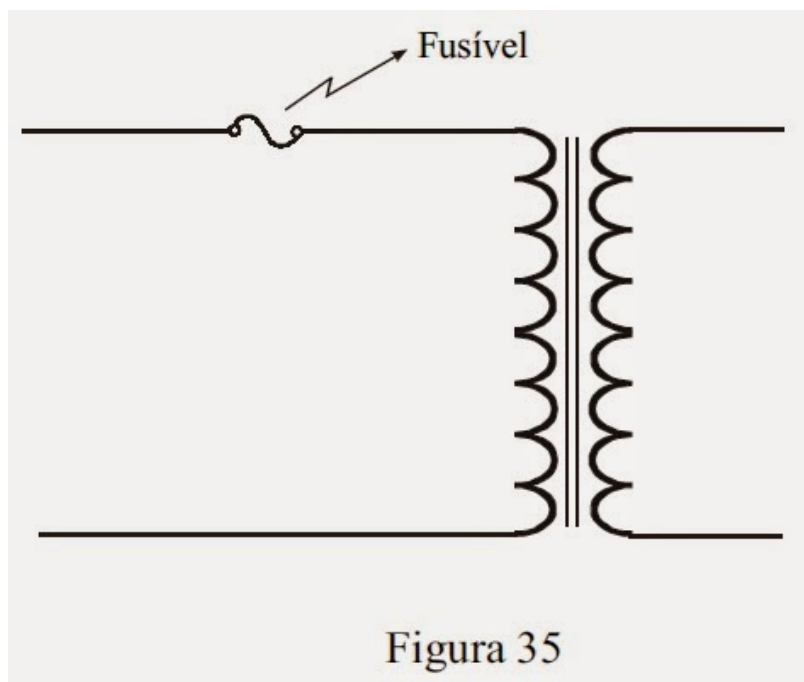


Figura 33



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



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.

Nesta literatura estaremos trabalhando com núcleos E I, 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 cm², 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 cm². 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 trafos, ou goma laca. Se for usar goma laca, lembre-se que ela pode atacar a isolação do fio de cobre esmaltado, fazendo com que os fios de um enrolamento entrem em curto.

O trafo 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 trafo.

Caso o carretel necessário ou disponível tenha uma seção geométrica maior do que a calculada, podemos colocar mais chapas empilhadas (aumentando B) para que o núcleo fique bem fixo no

carretel. Mas sempre use o menor carretel possível.

Para montar o trafo 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