

Projeto de pequenos transformadores

Um transformador é uma máquina elétrica estática, cuja principal função é transferir energia elétrica de um circuito para outro. Os transformadores podem ser elevadores, abaixadores ou simplesmente isoladores.

Neste material concentraremos nossos estudos no projeto de um transformador abaixador com tensão de entrada de 220V, tensão de saída 40V e corrente de saída 5A .

Para facilitar o entendimento faremos o projeto passo a passo.

Passo - 01 – Encontrar a potência de saída do transformador.

$P2 = V2.I2$
 $P2 = 40V.5A$
 $P2 = 200W$

Passo – 02 - Calcular a potência de entrada do transformador

Em um transformador ideal a potência de saída é igual a potência de entrada, porém nos modelos reais, isso não é verdade, existem perdas no cobre e no ferro, e estas vem expressa como rendimento (η) na placa do transformador. Assim, elevamos a potencia do primário em 10% o que nos dá um rendimento de aproximadamente 0,9.

$P1 = 1,1.P2 \rightarrow$ **Consideremos um rendimento de aproximadamente 0,9.**
 $P1 = 1,1.200W$

$P1 = 220W \rightarrow$ **Potência ativa dada em watt.**

Lembrando que um transformador é um circuito indutivo, ou seja, existe um fator de potência ($\cos\phi$) que devemos prevê-lo, em geral usamos 0,9.

$S1 = P1 + \cos\phi$
 $S1 = 220W + 0,9$
 $S1 = 242VA \rightarrow$ **Potência aparente dada em Volt-Ampère.**

Passo – 03 - Calcular a seção líquida (SL) do núcleo do transformador.

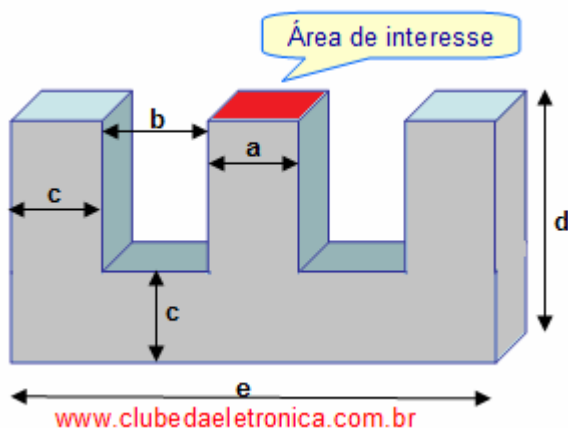


Tabela com chapas padronizadas para transformadores até 1kVA

nº	a	B	c	d	e	P(VA)
2	2,3	1,3	1,3	3,8	7,5	50
3	3,0	1,5	1,3	4,5	9,0	100
4	3,5	1,8	1,8	5,3	10,7	150
5	4,0	2,0	2,0	6,0	12,0	250
6	4,8	2,5	2,5	7,5	14,8	500
7	6,0	3,0	3,0	9,0	18,0	1000

A área de seção líquida do transformador pode ser calculada pela seguinte expressão:

$SL = \sqrt{P1}$
 $SL = \sqrt{220W}$
 $SL = 14,83cm^2 \rightarrow$ **área ocupada somente pelo ferro-silício em cm².**

Passo – 04 - Calcular a área bruta (SB) do núcleo do transformador.

Os núcleos dos transformadores são construídos com chapas de ferro-silício (possuem boa condutividade magnética) isoladas entre si o que minimiza as perdas no ferro por correntes parasitas. A área líquida só leva em consideração o ferro-silício e não a isolação.

Como regra de projeto, consideramos que a isolação aumentará em aproximadamente 20% a SL, assim podemos calcular a seção bruta.

$$SB = 1,2.SL$$

$$SB = 1,2.14,83\text{cm}^2$$

$$SB = 17,80\text{cm}^2 \rightarrow \text{área ocupada pelo ferro-silício + isolação entre as chapas em cm}^2.$$

- *Seção líquida SL = somente ferro-silício*
- *Seção bruta SB= ferro-silício + isolação*

Passo – 05 - Calcular o número de chapas EI que irão compor o núcleo do transformador.

Como calculamos a seção bruta 17,80 cm² e temos um dos lados 4,0cm (largura da chapa número 5, valor a da tabela), podemos então calcular a profundidade.

$$\text{Profundidade} = SB \div a$$

$$\text{Profundidade} = 17,80\text{cm}^2 \div 4,0\text{cm}$$

$$\text{Profundidade} = 4,45\text{cm}$$

Conhecendo a profundidade e a espessura da chapa que é de 0,3556mm ou 0,3556cm, podemos calcular o número de chapas que irão compor o núcleo.

$$\text{Número de chapas} = \text{profundidade} \div \text{espessura da chapa}$$

$$\text{Número de chapas} = 4,45\text{cm} \div 0,03556\text{cm}$$

$$\text{Número de chapas} = 125,13 \approx 126 \text{ chapas}$$

Passo – 06 - Calcular o número de espiras no primário (N1) e do secundário (N2).

O número de espiras do primário pode ser calculado pela seguinte expressão:

Onde:

$$N1 = \frac{V1.10^8}{4,44.B.f.SL}$$

N1 = número de espiras no primário

V1 = tensão do primário

B = densidade do campo magnético em gauss

f = frequência em Hz

SL = seção líquida do núcleo em cm²

A densidade do campo magnético depende da dopagem das chapas que irão formar o núcleo, vejamos:

- *B = 8000 para 2% de silício no ferro*
- *B = 10000 para 3% de silício no ferro*
- *B = 12000 para 4% de silício no ferro*

Fazendo os cálculos teremos:

$$N1 = 220V.10^8 \div 4,44.10000 \text{ gauss}.60\text{Hz}. 14,83\text{cm}^2$$

$$N1 = 556,86 \approx 557 \text{ espiras}$$

Agora, com uma equação bastante conhecida, podemos calcular o número de espiras do secundário.

$$N1 + N2 = V1 + V2$$

$$556,86 \div N2 = 220V \div 40V$$

$$N2 = 101,25 \text{ espira} \approx 102 \text{ espiras}$$

Passo – 07 – Dimensionar a área de seção transversal (bitola) dos enrolamentos primário e secundário.

Para saber a bitola dos fios devemos saber a corrente do primário e do secundário que podem ser calculadas facilmente.

$$P1 = V1 \cdot I1$$

$$I1 = P1 \div V1$$

$$I1 = 220W \div 220V$$

$$I1 = 1,0 A$$

$$P2 = V2 \cdot I2$$

$$I2 = P2 \div V2$$

$$I2 = 200W \div 40V$$

$$I2 = 5 A$$

Agora, precisamos conhecer a densidade de corrente, que é a condução de corrente por mm^2 . Lembrando que quanto mais ventilado for o ambiente de trabalho do transformador, maior a densidade da corrente.

Tabela da densidade da corrente D

- Sem ventilação → $D = 2A/cm^2$
- Má ventilação → $D = 4A/cm^2$
- Ventilação regular → $D = 6A/cm^2$
- Boa ventilação → $D = 8A/cm^2$

Iremos considerar para este transformador um ambiente mal ventilado, ou seja, com densidade de $4A/cm^2$.

$$\text{Seção do primário} = I1 + D$$

$$\text{Seção do primário} = 1,0A + 4A/cm^2$$

$$\text{Seção do primário} = 0,25mm^2$$

$$\text{*Seção do primário} = 23 AWG$$

$$\text{Seção do secundário} = I2 + D$$

$$\text{Seção do secundário} = 5A + 4A/cm^2$$

$$\text{Seção do secundário} = 1,25mm^2$$

$$\text{*Seção do primário} = 16 AWG$$

*Os fios para transformadores usam um padrão americano AWG, (American Wire Gauge), assim devemos fazer a conversão de mm^2 para AWG, para isso usamos a tabela anexo.

Passo – 08 – Verificar se a área livre no núcleo é o suficiente para encaixar a bobina.

$$\text{Área livre} = (d - c) \cdot b$$

$$\text{Área livre} = (6cm - 2cm) \cdot 2cm$$

$$\text{Área livre} = 8cm^2$$

E a área que a bobina primária ocupará será:

$$\text{Área bobina primária} = (\text{diâmetro do fio})^2 \cdot N1$$

$$\text{Área bobina primária} = (0,0573 cm)^2 \cdot 557 \text{ espiras}$$

$$\text{Área bobina primária} = 1,83 cm^2$$

Que devemos somar com a área que da bobina secundária ocupará que será de:

$$\text{Área bobina secundária} = (\text{diâmetro do fio})^2 \cdot N1$$

$$\text{Área bobina secundária} = (0,129 cm)^2 \cdot 102 \text{ espiras}$$

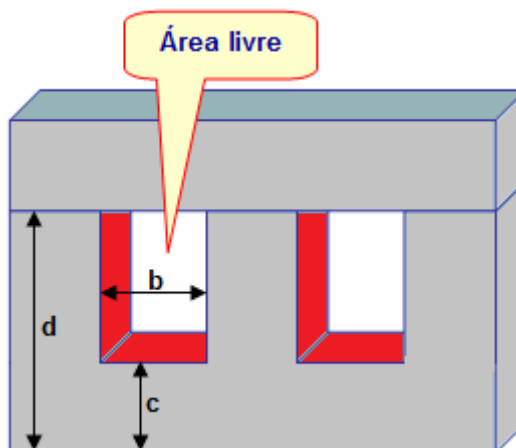
$$\text{Área bobina secundária} = 1,7 cm^2$$

E finalmente a área total

$$\text{Área bobina} = \text{Área bobina primária} + \text{Área bobina secundária}$$

$$\text{Área bobina} = 1,83cm^2 + 1,7cm^2$$

$$\text{Área bobina} = 3,53cm^2 \rightarrow \text{Que cabem perfeitamente em } 8cm^2$$



Anexo:

Tabela de Conversão de AWG para Milímetros				
AWG	Ø (mm)	Área (mm ²)	Resistência do fio de cobre a 20 °C (Ω/m)	Corrente Máxima (A)
0000	11.7	107	0.000161	380
000	10.4	85.0	0.000203	328
00	9.26	67.4	0.000256	283
0	8.25	53.5	0.000323	245
1	7.35	42.4	0.000407	211
2	6.54	33.6	0.000513	181
3	5.83	26.7	0.000647	158
4	5.19	21.1	0.000815	135
5	4.62	16.8	0.00103	118
6	4.11	13.3	0.00130	101
7	3.66	10.5	0.00163	89
8	3.26	8.36	0.00206	73
9	2.91	6.63	0.00260	64
10	2.59	5.26	0.00328	55
11	2.30	4.17	0.00413	47
12	2.05	3.31	0.00521	41
13	1.83	2.62	0.00657	35
14	1.63	2.08	0.00829	32
15	1.45	1.65	0.0104	28
16	1.29	1.31	0.0132	22
17	1.15	1.04	0.0166	19
18	1.02	0.823	0.0210	16
19	0.912	0.653	0.0264	14
20	0.812	0.518	0.0333	11
21	0.723	0.410	0.0420	9
22	0.644	0.326	0.0530	7
23	0.573	0.258	0.0668	4.7
24	0.511	0.205	0.0842	3.5
25	0.455	0.162	0.106	2.7
26	0.405	0.129	0.134	2.2
27	0.361	0.102	0.169	1.7

28	0.321	0.0810	0.213	1.4
29	0.286	0.0642	0.268	1.2
30	0.255	0.0509	0.339	0.86
31	0.227	0.0404	0.427	0.7
32	0.202	0.0320	0.538	0.53
33	0.180	0.0254	0.679	0.43
34	0.160	0.0201	0.856	0.33
35	0.143	0.0160	1.08	0.27
36	0.127	0.0127	1.36	0.21
37	0.113	0.0100	1.72	0.17
38	0.101	0.00797	2.16	0.13
39	0.0897	0.00632	2.73	0.11
40	0.0799	0.00501	3.44	0.09

"As pessoas viajam para admirar a altura das montanhas, as imensas ondas dos mares, o longo percurso dos rios, o vasto domínio do oceano, o movimento circular das estrelas e, no entanto elas passam por si mesmas sem se admirarem."

Santo Agostinho