



Projeto e Construção de Transformadores

Grande número de técnicos e montadores adquirem transformadores prontos que são vendidos em praticamente todas as lojas de componentes eletrônicos.

Contudo, sempre há aquele projeto especial ou um equipamento em manutenção que precisará de um transformador especial com características próprias.

Seja pelo seu formato, dimensões, potência ou tensão de entrada/saída, este transformador provavelmente não seria encontrado pronto e portanto seria necessário encomendá-lo a uma indústria ou a um enrolador.

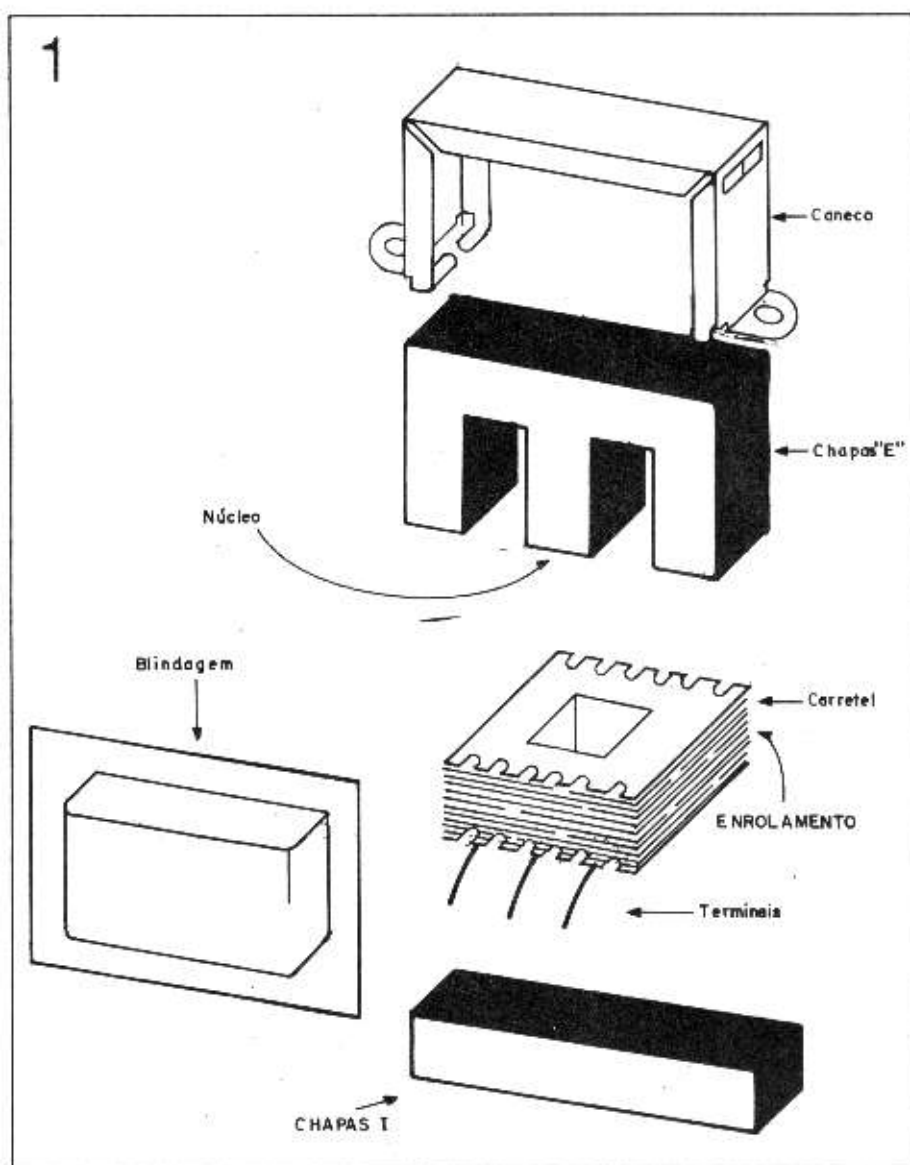
Neste caso, os prazos e principalmente os custos podem alterar nossos planos. Isso será fácil de entender se imaginarmos que uma fábrica ou um profissional tem sua seqüência de trabalho bem definida, e alterá-la com a execução de uma só unidade, ainda mais com características especiais, elevam astronômicamente os custos. No caso de uma indústria, por exemplo, a confecção de um só transformador especial pode levar quase o mesmo tempo que o dispendido na fabricação de 50 unidades em série (some isto para ver quanto dá).

Dai pode ter-se uma idéia da dificuldade em encomendar um transformador especial. Isso sem mencionar o fato de que não é qualquer profissional ou indústria que aceita este tipo de encomenda.

Por isso, nesta edição estamos apresentando ao leitor todas as informações técnicas necessárias para que ele mesmo confeccione seu próprio transforma-

dor, com qualquer tensão de primário ou secundário.

As fórmulas foram simplificadas e a montagem foi bem detalhada, para que



Vista explodida de um transformador comum

o leitor não encontre dificuldades no decorrer de seu trabalho.

Com isso esperamos contribuir para o aprimoramento do nível técnico do leitor e também torná-lo mais ativo na área, capacitando-o a realizar montagens mais complexas.

APRESENTAÇÃO DO TRANSFORMADOR

O transformador é um componente muito usado em eletrônica, mas muito pouco compreendido, apesar de ser um dos mais fáceis de entender e fabricar.

Sua constituição é vista na **figura 1** onde podemos identificar, entre seus componentes, o núcleo, enrolamentos, carretel, blindagem e o caneco.

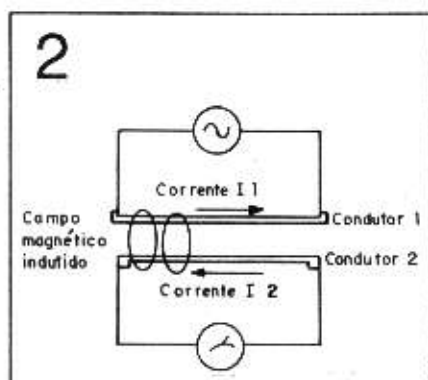
Torna-se necessário a familiarização com estes componentes, pois o leitor que irá usá-los na montagem de seu próprio transformador, deverá adquiri-los em lojas especializadas de material para transformadores como a TRANCHAM (Tel: (011) 222-5711) e o S. O. S. TÉCNICO (Tel: (011) 958-8627) ambos de São Paulo - SP.

Há casos em que se pode utilizar um transformador em desuso, desmontando-o e desenrolando seus fios para o aproveitamento do carretel e núcleo, para o enrolamento novo.

Para dominar as técnicas de construção de transformadores será necessário uma explanação sobre seus princípios básicos.

FUNCIONAMENTO DE UM TRANSFORMADOR

O funcionamento de um transformador está baseado no princípio da indução eletromagnética. Quando temos uma corrente circulando por um condutor, como mostrado na **figura 2**, esta criará em torno do condutor um campo eletromagnético de intensidade proporcional a intensidade da corrente e que se



Princípio de indução eletromagnética

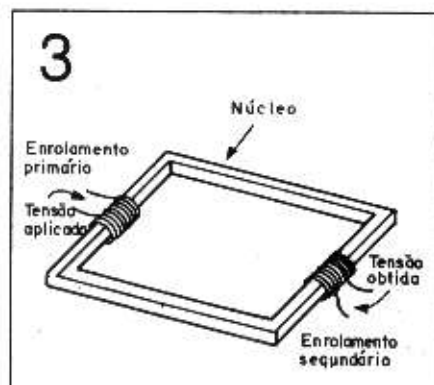
propaga pelo espaço, induzindo em um outro condutor eletricamente isolado do primeiro, uma corrente proporcional ao campo recebido.

O transformador utiliza este princípio para manipular as tensões. Para isso ele é construído a partir de dois enrolamentos separados eletricamente e envolvendo um núcleo ferromagnético para otimizar o efeito da indução eletromagnética.

Um exemplo pode ser visto na **figura 3**, onde temos um transformador composto pelo núcleo magnético e com dois enrolamentos separados: primário, onde é ligada a fonte de tensão e secundário onde se obtém a tensão desejada.

Como é possível notar, o transformador é construído a partir de bobinas. Estas devem ter um determinado número de espiras no seu primário e no seu secundário. A relação de espiras entre o primário e secundário determinará o fator multiplicativo do transformador.

Por exemplo, se um transformador pos-



Exemplo típico de um transformador

sui no primário 100 espiras e no secundário 50, o fator multiplicativo é:

$$r = \frac{E2}{E1} = \frac{50}{100} = 0,5$$

onde:

r = Relação de espiras (fator multiplicativo)

E1 = N° de espiras do primário
E2 = N° de espiras do secundário

Com este fator, uma tensão de 220 Volts ligada ao primário do transformador induzirá uma tensão no secundário de aproximadamente 110 Volts (220 x 0,5 = 110).

Modificando a relação de espiras poderemos construir transformadores para elevar ou reduzir tensões conforme a necessidade. Transformadores com r > 1 elevarão a tensão e com r < 1, a reduzirão.

Antes de executarmos os cálculos para o projeto de transformadores, é necessário ter conhecimento de alguns tópicos essenciais que ajudarão no entendimento do projeto e evitarão possíveis erros.

EFICIÊNCIA DO TRANSFORMADOR

A eficiência refere-se a uma grandeza indicada pela letra grega η (eta), que expressa a relação (em %) entre a energia aplicada ao transformador e a energia retirada em seu enrolamento secundário.

Por exemplo, se aplicarmos 50 W em seu primário e retirarmos em seu secundário 42 W, teremos um ganho de:

$$\eta = \frac{Ps \times 100}{Pe} = \frac{42 \times 100}{50} = 84\%$$

onde:

η = eficiência em %

Ps = potência de saída (secundário)

Pe = potência de entrada (primário)

Os rendimentos mais comuns obtidos

na construção de transformadores por processo manual, são mostrados na tabela 1.

TABELA 1

Watts no secundário	Rendimento (%)
1,5	50
2,8	60
6,0	70
20,0	80
55	85
250	90
500	93
1000	95

Índice de rendimento dos transformadores

REGULAÇÃO

Ao ligat um transformador, este apresenta uma tensão em seu secundário. Esta tensão, geralmente, é maior quando o secundário não está conectado ao circuito (diz-se que ele está em vazio). Logo que é conectado ao circuito, a tensão no secundário cai. Nesta situação diz-se que o transformador está em plena carga.

A regulação é a taxa de variação da tensão quando o transformador está em vazio e em plena carga. para obter a taxa de variação fazemos:

$$R = \frac{(U_v - U_c) \times 100}{U_v}$$

onde:

R = Regulação (em %)

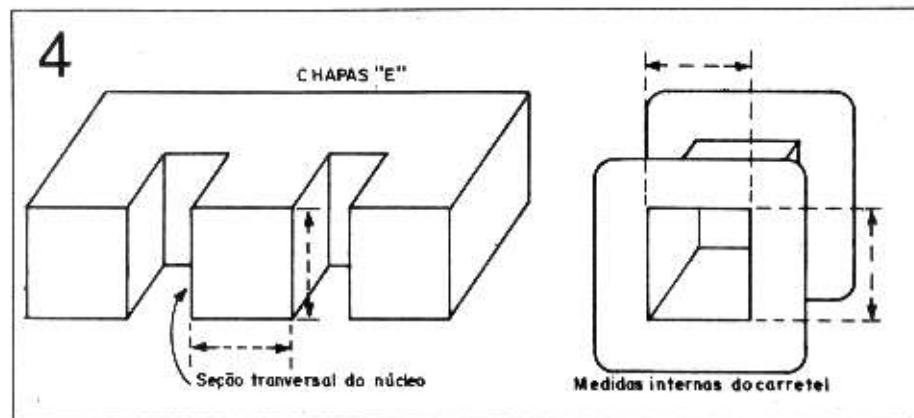
U_v = Tensão em vazio (em volts)

U_c = Tensão em plena carga (em volts)

Assim, um transformador que proporciona uma tensão em vazio de 14 V e uma tensão em plena carga de 12 V, possui uma regulação de:

$$R = \frac{(14 - 12) \times 100}{14} = 14,2\%$$

Esta taxa não seria aceitável na prática, onde encontramos valores entre 5% e 10%. É visível que taxas de regulação menores indicam transformadores melhores.



Núcleo e carretel

PROJETOS DE TRANSFORMADORES

O cálculo do transformadores é relativamente fácil de ser realizado e é o primeiro passo para a execução do projeto.

Inicialmente será necessário saber a corrente e a tensão que o transformador deverá fornecer em seu secundário. A partir daí, calcula-se a potência no enrolamento secundário através da expressão:

$$P_s = U_s \times I_s \quad (1)$$

onde: P_s = Potência do secundário em Watts

U_s = Tensão no secundário em volts

I_s = Corrente no secundário em Ampères

Se o transformador possuir mais de um secundário, será necessário aplicar a fórmula (1) para cada um deles. A potência do secundário do transformador será então, a soma das potências de todos secundários.

Em seguida, calcula-se a potência do transformador, usando o fator de eficiência do transformador. Para transformadores feitos manualmente poderemos assumir a eficiência da tabela 1.

Sua potência será:

$$P_p = \frac{P_s \times 100}{\eta} \quad (2)$$

onde: P_p = Potência no primário em Watts

P_s = Potência em watts

η = Eficiência em %

Conhecendo-se a potência, é possível

TABELA 2

Nº	0	1	2-A.J	2	3	4	5	6
Medida	3/16"	3/8"	1/2	9/16"	5/8"	3/4"	7/8"	1"
A	5,7	10,0	13,3	15,0	16,5	20,5	23,0	26,3
B	16,5	27,5	33,0	30,0	34,0	37,0	47,0	54,0
C	14,2	24,0	28,5	28,0	31,0	36,0	44,0	50,0
D	3,0	5,7	6,0	6,2	8,0	8,0	7,5	10,0
E	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0
F	2,1	4,0	5,5	5,5	5,5	8,0	11,0	12,0
G	1,3	6,0	7,0	5,5	5,5	7,0	8,0	10,5
H	11,0	18,5	21,0	21,0	24,0	28,0	32,5	38,0
I	10,0	15,5	18,0	18,2	20,2	24,5	28,5	33,0
J	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,7	2,0	2,0
K	1,4	1,5	1,7	1,5	1,6	1,7	2,0	2,0
L	7,0	12,2	13,4	17,2	19,0	23,5	26,5	30,0

Medidas dos carretéis marca joto

obter-se agora a seção transversal do núcleo. É chamada seção transversal do núcleo, a área central das chapas que atravessam o centro do carretel de um transformador.

Na figura 4 mostramos esta área e o carretel para um melhor entendimento. As medidas internas do carretel devem ser iguais as da seção transversal do núcleo, pois na montagem, este é encaixado no carretel.

A área interna do carretel, assim como a seção transversal do núcleo podem ser obtidas através da fórmula:

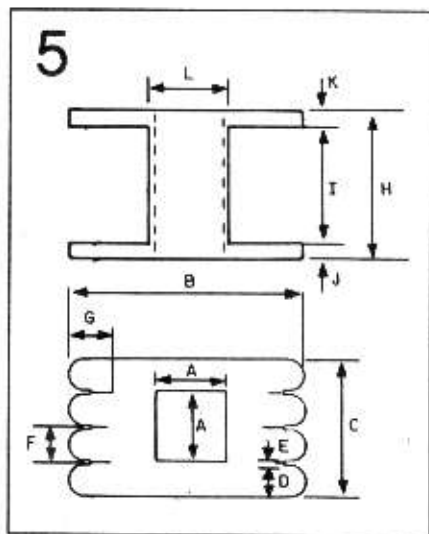
$$S = \frac{\sqrt{P_p}}{0,8} \quad (3)$$

onde: S = área em cm²
P_p = Potência do primário em Watts

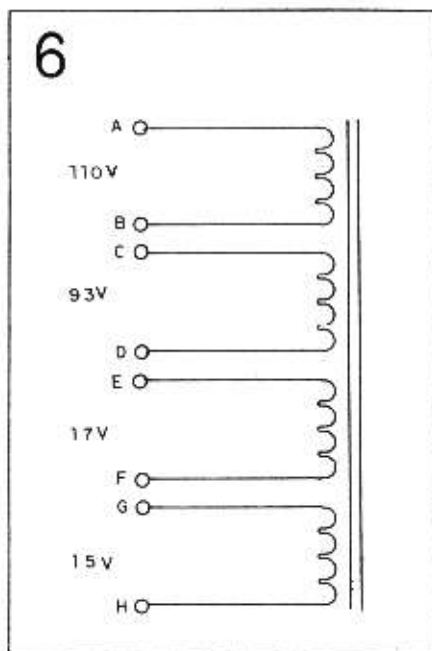
Obtendo-se a área, encontramos entre as medidas na tabela 2, um carretel que disponha da área aproximada à calculada. As medidas se referem às cotas ilustradas na figura 5.

De posse das medidas do carretel, é possível escolher as medidas das chapas "E" e "I" que irão constituir o núcleo do transformador. Geralmente estas são fornecidas nas medidas específicas para cada tipo de carretel.

O próximo passo será calcular a quantidade de espiras (volts) de fio, neces-



Cotas para as medidas do carretel



Enrolamentos primários separados

sários para a construção dos enrolamentos primário e secundário.

CÁLCULO DO PRIMÁRIO

O número de espiras do enrolamento

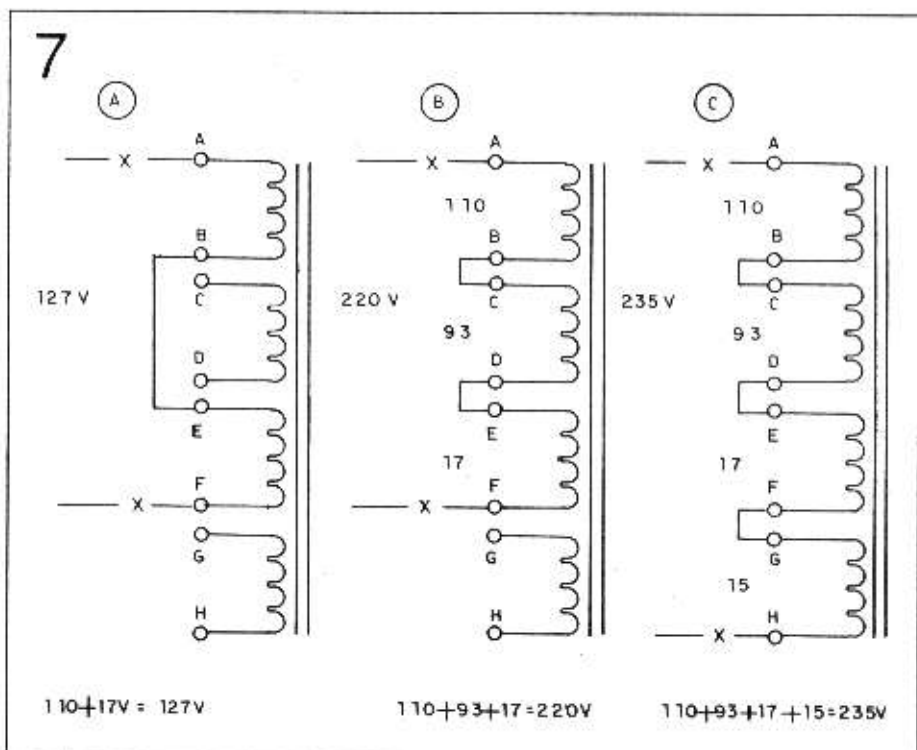
primário, que geralmente é aquele ligado a rede elétrica, é calculado com a fórmula:

$$N_p = \frac{E \times 10^8}{4,44 \times f \times B \times S} \quad (4)$$

onde: N_p = número de espiras do primário
E = Tensão no primário em Volts
f = Frequência da rede em Hz
B = Densidade de fluxo magnético do ferro em Gauss
S = Seção transversal do núcleo em cm²

A densidade de fluxo magnético de um núcleo de transformador é fornecida pelo fabricante e varia de material para material. Na prática adote 10.000 Gauss para chapas de ferro doce comum (igual às usadas em transformadores convencionais) caso não obtenha o valor correto com o fabricante.

Para primário simples com dois fios, para por exemplo 110 V, a fórmula (4) é usada diretamente. Se você tiver um enrolamento primário como o mostrado na figura 6, aplique a fórmula para cada tensão específica de cada seção, pois os enrolamentos são separados.



Associação em série de enrolamentos primários

Este tipo de transformador é empregado onde combinações em série de seus enrolamentos se fazem necessárias, para suportar diferentes tensões de entrada.

Por exemplo, ligando-se em série os enrolamentos AB + EF, a entrada do transformador suporta 127 V (110 + 17 Volts, veja a **figura 7a**), tensão disponível em algumas cidades interioranas.

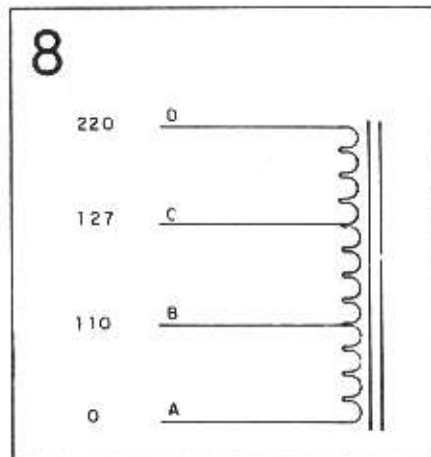
Agora, combinando os enrolamentos AB + CD + EF, teremos 220 Volts (110 + 93 + 17 V, veja a **figura 7b**). Com a ligação série de todos eles teríamos 235 Volts (110 + 93 + 17 + 15 Volts, veja a **figura 7c**).

Se usassemos só o enrolamento AB, este suportaria os 110 Volts usuais, e mudando-se para o enrolamento CD, teríamos uma entrada de 93 Volts, própria para locais de rede sobrecarregada, como em alguns bairros das metrópoles ou perto de indústrias.

Em enrolamentos primários com derivações, será necessário obter o número de espiras para cada seção do enrolamento.

No exemplo mostrado na **figura 8**, o enrolamento inicia no terminal A (0V). Este terminal é comum a todas as tensões. Se ligarmos 110 Volts a este transformador, devemos usar os terminais A e B, e assim por diante.

Para executar o cálculo do número de espiras de cada seção, deve-se debitar a tensão presente na seção anterior. Por exemplo, a seção A-B suporta 110 Volts,



Enrolamento primário com derivação

portanto o cálculo deve ser feito a partir dessa tensão, usando a fórmula (4). A seção A-C suporta 127 Volts, mas como usa as espiras da seção A-B, deve-se debitar o valor da tensão anterior (127-110=17 Volts). O cálculo então, deve usar como valor de tensão os 17 Volts. A seção CD terá então 83 Volts (220-127 V).

SECUNDÁRIO

De posse dos cálculos feitos para o primário, obtemos o valor do secundário, com a fórmula:

$$N_s = \frac{U_s \times N_p}{U_p} \quad (5)$$

onde: $N_s = n^\circ$ de espiras do secundário
 $N_p = n^\circ$ de espiras do primário
 $U_s =$ Tensão no secundário
 $U_p =$ Tensão no primário

Para obter U_p e N_p , caso o leitor tenha um primário de varias seções, escolha uma e adote sua tensão e seu número de espiras. Isso é possível pois como o transformador trabalha com relações proporcionais, um enrolamento para 220 Volts teria o dobro de espiras que um para 110 Volts.

A partir daí, a fórmula (5) deve ser empregada para cada seção do secundário, como ocorreu com os exemplos dados anteriormente, referentes ao primário.

ESCOLHA DO FIO

Antes de escolher o fio com que irá ser enrolado o transformador, é necessário definir a densidade de corrente com que o fio deverá trabalhar.

Esta densidade refere-se a corrente que circula em determinada área do condutor.

Densidades maiores geram um aquecimento maior, e expõe o transformador a falhas, como queima e curto-circuito entre espiras. Contudo há uma diminuição no tamanho do transformador e

redução no custo, pois emprega menor quantidade de material.

As densidades mais usadas estão entre 1 A/mm² e 2 A/mm², sendo que a média (1,5 A/mm²) é a mais comum.

Na prática, deve-se ter em mente que 1 A/mm² é uma densidade que torna o transformador muito confiável, fazendo-o trabalhar menos aquecido. Isso o tornará caro também, pois dispendirá bem mais quantidade de material.

A densidade de 2 A/mm² só é recomendada se o transformador não for usado continuamente, tendo períodos de uso inferiores a uma hora e com períodos de descanso aproximadamente iguais.

Uma densidade limite de 3 A/mm² só é aceitável em casos de economia extrema, tanto de espaço como de material. Caso opte por esta densidade, pense em resfriar o transformador, usando por exemplo um ventilador.

A bitola do fio que deve ser empregado em cada enrolamento é calculada, então, pela expressão:

$$d = 2 \sqrt{\frac{I}{J\pi}} \quad (6)$$

onde: $d =$ diâmetro do fio em mm
 $I =$ corrente nominal do enrolamento
 $J =$ densidade de corrente em A/mm²

Com o resultado, escolhe-se na **tabela 3**, um fio que apresente o diâmetro equivalente ou aproximado ao calculado. Por exemplo, se o resultado for 0,2345, poderia optar-se pelo fio 30 cujo diâmetro é 0,2546. Note que o arredondamento é sempre feito para um valor imediatamente superior.

CONSTRUÇÃO

A construção inicia-se com a bobinagem do enrolamento primário no carretel. Esta bobinagem pode ser feita manualmente, espira por espira, ou com bobinadora automática. Lembre-se que o fio usado deve ser de cobre esmaltado

TABELA 3

números	diâmetro em mm	seção em mm	número de espiras por centímetro	resistência em ohms por Km	limite máximo em A
0000	11.62	107.2	.....	0.158	140.7
000	10.40	85.3	.....	0.197	111.3
00	9.266	67.43	.....	0.252	58.9
0	8.252	53.48	.....	0.317	70.3
1	7.348	42.41	.....	0.40	55.7
2	6.544	33.63	.....	0.50	44.1
3	5.527	26.67	.....	0.63	35.0
4	5.189	21.15	.....	0.80	27.7
5	4.621	16.77	.....	1.01	22.0
6	4.115	13.3	.....	1.27	17.5
7	3.665	10.55	.....	1.70	13.8
8	3.264	8.36	.....	2.03	11.0
9	2.906	6.63	.....	2.56	8.7
10	2.588	5.26	.....	3.23	6.9
11	2.305	4.17	.....	4.07	5.5
12	2.053	3.31	.....	5.13	4.4
13	1.828	2.62	.....	6.49	3.3
14	1.628	2.08	5.6	8.17	2.7
15	1.450	1.65	6.4	10.3	2.2
16	1.291	1.31	7.2	12.9	1.7
17	1.150	1.04	8.4	16.34	1.3
18	1.024	0.82	9.2	20.73	1.1
19	0.9116	0.65	10.5	26.15	0.86
20	0.8118	0.52	11.6	32.69	0.68
21	0.7230	0.41	12.8	41.46	0.54
22	0.6438	0.33	14.4	51.5	0.43
23	0.5733	0.26	16.0	65.4	0.34
24	0.5106	0.20	18.0	85.0	0.27
25	0.4547	0.16	20.0	106.2	0.21
26	0.4049	0.13	22.8	130.72	0.17
27	0.3606	0.10	25.6	170.0	0.13
28	0.3211	0.08	29.8	212.5	0.11
29	0.2859	0.064	32.4	265.6	0.084
30	0.2546	0.051	35.2	333.3	0.067
31	0.2268	0.040	41.6	425.0	0.053
32	0.2019	0.032	48.0	531.2	0.042
33	0.1798	0.0254	52.0	669.3	0.033
34	0.1601	0.0201	56.0	845.8	0.026
35	0.1426	0.0159	64.0	1069.0	0.021
36	0.1270	0.0127	76.0	1338.0	0.017
37	0.1131	0.0100	78.0	1700.0	0.013
38	0.1007	0.0079	82.0	2152.0	0.010
39	0.0897	0.0063	86.0	2698.0	0.008
40	0.0799	0.0050	92.0	3400.0	0.006
41	0.0711	0.0040	96.0	4250.0	0.005
42	0.0633	0.0032	101.2	5312.0	0.004
43	0.0564	0.0025	106.0	6800.0	0.003
44	0.0502	0.0020	110.0	8500.0	0.0025

Características de fios esmaltados

para que não haja curto-circuito entre as espiras.

No caso de ser feita manualmente, o que tornará a tarefa um tanto trabalhosa, tome o cuidado de manter sempre uma espira ao lado da outra.

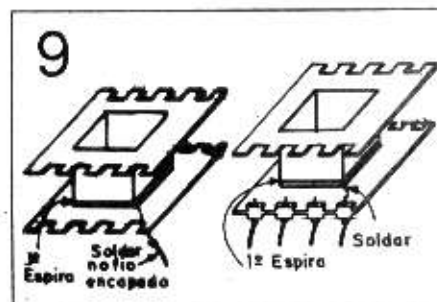
Outro cuidado a observar é enrolar de 2 a 5 % mais espiras que o calculado. Isto é necessário, porque o enrolamento manual reduz a eficiência do transformador, que deve ser compensada.

Em transformadores menores, com menos de 20 Watts, a queda de eficiência é mais acentuada e exige maior cuidado no enrolamento.

No início do enrolamento, deixe cerca de 10 cm de fio para fora do carretel (para posteriormente soldar o fio encapado) se estiver usando um carretel sem terminais, caso contrário raspe e solde a ponta do fio esmaltado em um dos terminais do carretel. Os dois tipos de carretéis são mostrados na figura 9.

A tabela 4 mostra a padronização da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) para as cores dos fios do primário, para transformadores ligados a rede elétrica.

Ao final de cada enrolamento, isole-o



Carretel para rabicho e carretel com terminais

TABELA 4

TENSÃO (V)	COR
0	PRETO
90	AZUL
115	AMARELO
125	VERDE
180	BRANCO
200	MARROM
220	VERMELHO

Cores de fios para primários

do próximo com papel Kraft fino ou fita plástica. Convém, também, para obter uma maior durabilidade, e caso haja disponibilidade de espaço não implicando em um aumento excessivo no custo, isolar cada camada recém terminada com papel prespan, ou outro que confie boa isolamento. O aspecto que o bobinamento deverá apresentar então, é mostrado na figura 10.

O último enrolamento, aquele externo, costuma-se proteger com mais papel ou fita, para que arranhões não comprometam seu funcionamento.

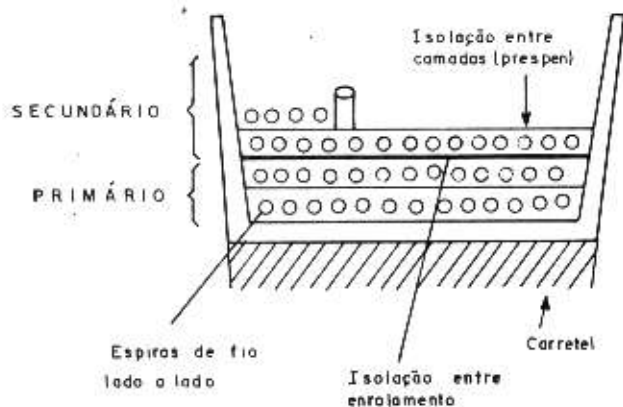
Após isso, o carretel é montado nas chapas de ferro E e I, conforme mostra a figura 11, e com pequenas marteladas nos cantos das chapas, estas irão se ajustando até se encaixarem.

Nesta fase deve-se usar chapas isentas de óleo e de ferrugem, manipulando-as com luvas de camurça para não impregná-las de suor, que resultaria em posterior oxidação do ponto tocado.

A montagem poderá ser feita usando chapas E na base do carretel, deixando todas chapas I no topo, ou invertendo-se as posições delas sucessivamente, o que tornará o conjunto mais rígido.

Para carretéis grandes, as chapas vem

10



Corte de um carretel mostrando o aspecto do enrolamento em andamento

com furos nas pontas, que servem para a passagem de parafusos, para a fixação dos canecos de blindagem e sustentação e para a própria amarração das chapas. A boa amarração das chapas irá impedi-las de se soltarem e provocarem vibrações.

Costuma-se dar um banho de verniz especial para transformadores após a fixação das chapas EI. Este verniz, que pode ser adquirido no mesmo fornecedor dos outros materiais, penetrará nos fios do enrolamento e entre as chapas, fixando-os, reduzindo as vibrações e proporcionando uma boa isolação elétrica do conjunto. A alta resistência ao calor também é um ponto positivo da aplicação deste verniz, que torna o enrolamento mais resistente a sobrecargas elétricas.

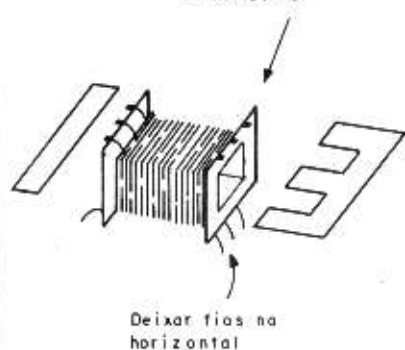
Para proceder o banho de verniz, aque-

ça-o em uma lata até aproximadamente 60 graus centígrados, mergulhando totalmente o transformador nele por pelo menos 2 horas. Deve-se sacudir o transformador de vez em quando para melhor penetração do verniz.

O passo final será a colocação do caneco ou blindagem no transformador. Se ele for grande com parafusos nas extremidades, como mostrado na **figura 12**, poderá ser fixado através de pés de sustentação. Ao contrário dos pequenos que devem ser fixados pelo caneco (**figura 13**).

11

Deixar terminais na horizontal

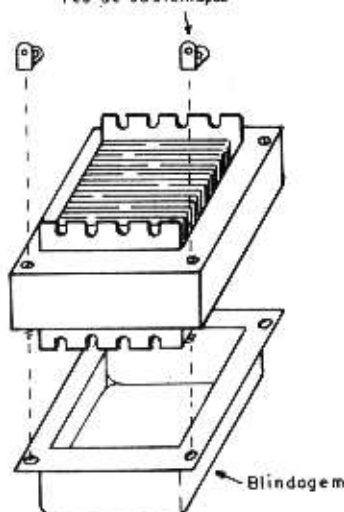


Deixar fios na horizontal

Montagem das chapas E e I no carretel

12

Pés de sustentação

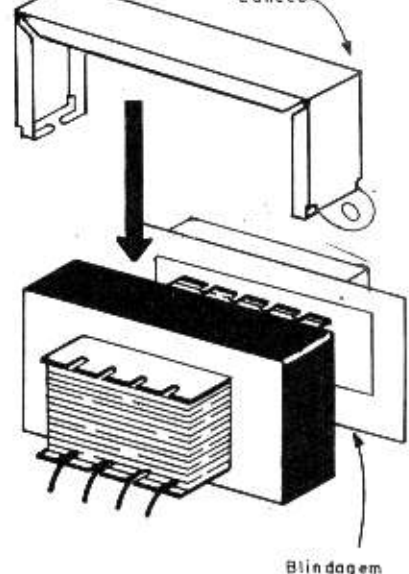


Blindagem

Acabamento com pés de sustentação

13

Caneco



Blindagem

Acabamento com caneco de sustentação

Após a colocação das tampas, o transformador estará pronto para o uso. Se tudo foi feito corretamente, ele deverá funcionar perfeitamente durante muito tempo e o leitor poderá se orgulhar do trabalho realizado e da economia obtida.

CONCLUSÃO

Os cálculos apresentados são em sua maioria, reduções de fórmulas complexas, usadas por grandes indústrias. Isso não quer dizer que o transformador projetado com estas fórmulas não tenha um bom funcionamento (alias ele é excelente para o uso a que se destina), mas sim, que a indústria se vale daquela fórmula, para racionalizar o uso materiais e processos, obtendo um bom transformador a custos mais baixos.

Assim procuramos proporcionar ao leitor, dados técnicos para que ele agora possa ser auto suficiente também neste sentido, não precisando mais, depender de terceiros para realizar seus projetos e trabalhos, principalmente nas regiões do país, com menos recursos técnicos.