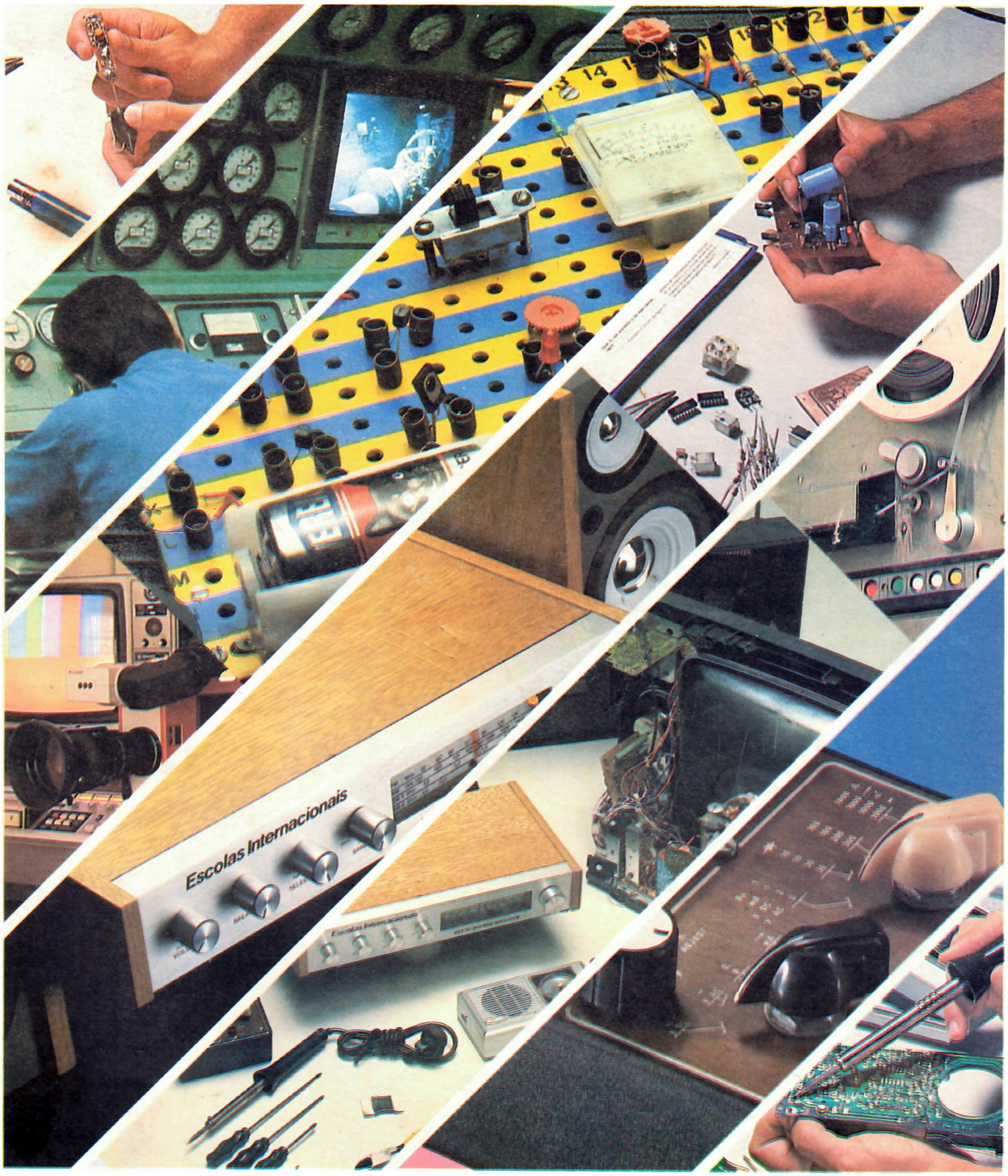
PROJETO DE FONTES DE ALIMENTAÇÃO



Escolas Internacionais

Referência

032

Índice Geral

LIÇÃO Nº 17 – PROJETO DE FONTES DE ALIMENTAÇÃO

Introdução 9
1. Fontes de alimentação 9
2. Transformador de alimentação 10
3. Circuitos de retificação 12
4. Projeto de uma fonte de alimentação com capacitor de entrada 12
5. Projeto de uma fonte de alimentação com indutor de entrada 24
6. Projeto de pequenos transformadores de alimentação 27
7. Projeto de indutâncias de filtro 41
8. Tabelas de fios 44
Exame da lição nº 17 47

Conteúdo didático programado e elaborado pela equipe técnico-pedagógica das Escolas Internacionais.

Copyright - Internacional Textbook Company - ICS - International Correspondence Schools - Scranton, Pennsylvania - USA - Copyright - Direitos exclusivos no Brasil para ESCOLAS INTERNACIONAIS - São Paulo, SP - Brasil.

Reservados todos os direitos. Proibida a reprodução total ou parcial do texto e das ilustrações por qualquer forma ou meio, sem prévia autorização por escrito dos detentores do copyright. Edições ou reproduções não autorizadas estarão sujeitas às penalidades da Lei.

Escolas Internacionais

Impresso no parque gráfico das Escolas Internacionais do Brasil.

Introdução

Nesta lição você irá fazer um estudo sobre as fontes de alimentação que transformam a corrente alternada em corrente contínua.

Nos três primeiros capítulos desta lição você terá uma visão geral sobre os componentes que constituem uma fonte de alimentação, para em seguida conhecer 4 tipos de projetos.

Os dois primeiros projetos são relativos à determinação das características que os componentes de uma fonte de alimentação devem apresentar. O primeiro destes projetos é para uma fonte de alimentação com capacitor de entrada, e o segundo é para uma fonte de alimentação com indutor de entrada. Cada um destes dois projetos apresenta uma seqüência de etapas que permite determinar o valor de cada componente, e em seguida a aplicação num exemplo numérico.

Os dois últimos projetos são relativos à construção de pequenos transformadores de alimentação e de indutâncias de filtro.

Ao final desta lição, no último capítulo, são apresentadas duas tabelas de fios, que lhe possibilitam escolher o tipo de fio adequado às necessidades dos enrolamentos.

Projeto de Fontes de Alimentação

1- Fontes de alimentação

Qualquer equipamento eletrônico necessita, para o seu funcionamento, de uma fonte de energia elétrica.

Os dispositivos utilizados para fornecer a energia adequada aos equipamentos eletrônicos são chamados de fontes de alimentação.

Na aplicação prática da eletrônica existem 3 tipos de fontes de alimentação: 1°) aplicação direta de tensões contínuas fornecidas por pilhas, baterias, células solares, etc; 2°) transformação das tensões contínuas de pilhas, baterias, células solares, etc., em outras tensões contínuas; 3°) transformação das tensões alternadas fornecidas pela rede de energia nas tensões contínuas necessárias.

Nesta lição será abordado em detalhes o terceiro tipo de fonte de alimentação.

Geralmente, as ***fontes de alimentação*** que fazem a ***transformação da tensão alternada em tensão contínua,*** apresentam ***3 tipos de componentes,*** ligados com a seguinte disposição: ***transformador, circuitos de retificação e filtro.*** Veja o esquema na figura 1.

Direitos reservados

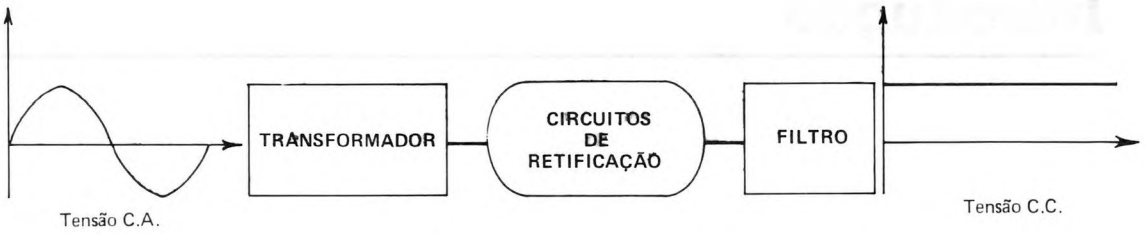


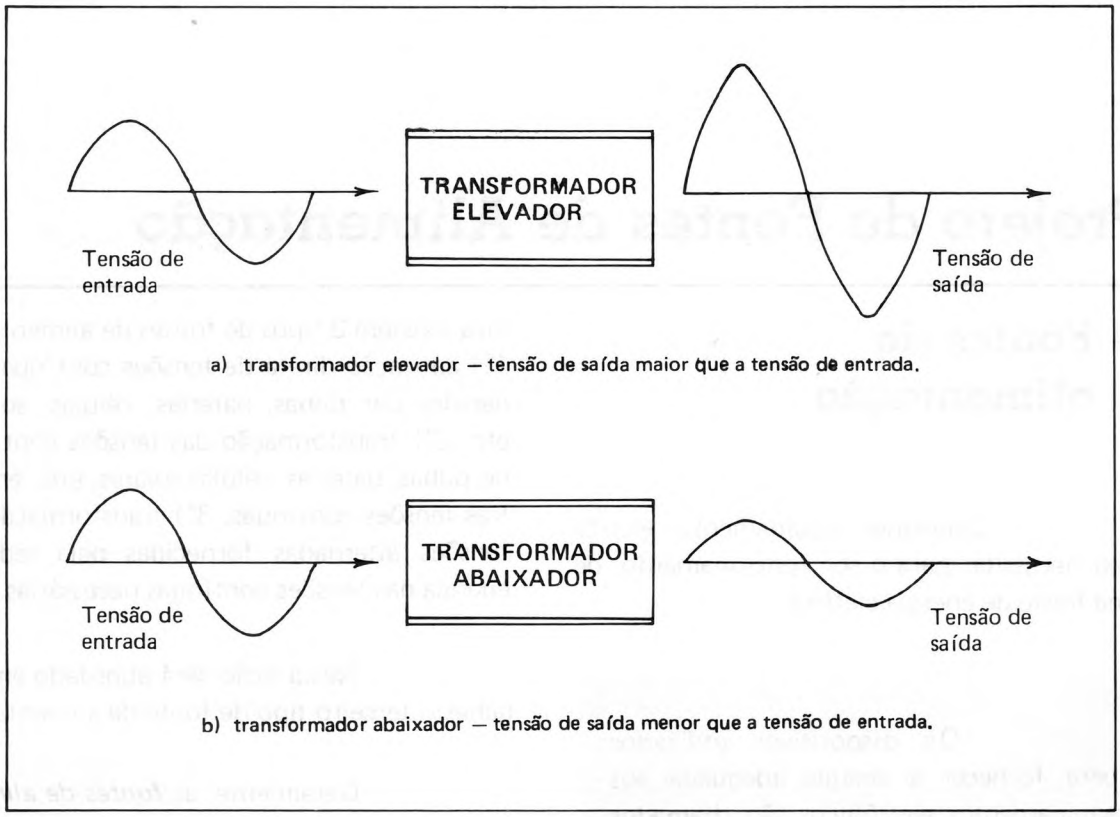
Fig. 1 — Esquema de uma fonte de alimentação.

Os filtros são empregados quando a carga exigir uma tensão mais contínua do que aquela que sai dos circuitos de retificação. Os filtros, como você já estudou nas lições 10 e 16, podem ser constituídos por um simples capacitor ligado em paralelo com a carga ou combinações L–C ou R–C.

2- Transformador de alimentação

De acordo com o que você já estudou em lições anteriores, a tensão alternada apresenta a característica de poder ser transformada em outros valores mais adequados, com o emprego de apenas um transformador.

O transformador pode ser de dois tipos, dependendo da relação entre o número de espiras do primário e do secundário: ***transformador elevador de tensão*** ou ***transformador abaixador de tensão.*** A figura 2 apresenta de forma simbólica a relação entre a tensão de entrada e a tensão de saída, para os dois tipos de transformador.



a) transformador elevador — tensão de saída maior que a tensão de entrada.

b) transformador abaixador — tensão de saída menor que a tensão de entrada.

Fig. 2 — Relação entre a tensão de entrada e de saída, para os dois tipos de transformador.

Direitos reservados

Na grande maioria dos projetos de fontes de alimentação, o transformador é usado para duas finalidades: em primeiro lugar, para obter as tensões adequadas aos circuitos ou cargas e, em segundo lugar, para obter estas tensões a partir de diversas tensões de rede.

Como exemplo, veja a figura 3 onde aparece o esquema de um destes transformadores.

O transformador esquematizado na figura 3 apresenta ***dois secundários:*** um com derivação central, fornecendo uma tensão de 25 V_{ef} em cada metade, com capacidade para suprir uma corrente de 2 A; outro, com tensão de 6,3 V_{ef} e capacidade de corrente de 1 A.

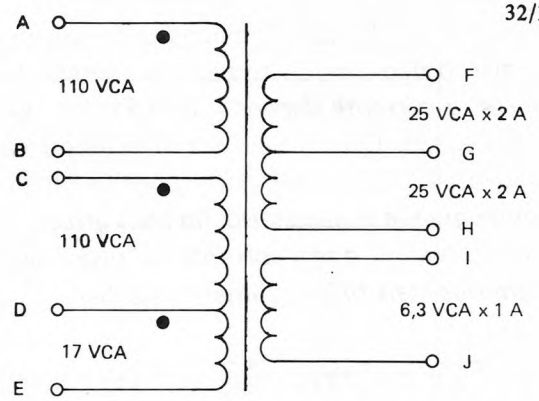


Fig. 3 — Esquema elétrico de um transformador usado numa fonte de alimentação.

O ***primário*** do transformador da figura 3 apresenta ***dois enrolamentos independentes,*** um deles com derivação. ***Dependendo da maneira de ligar os enrolamentos do primário, o transformador poderá ser operado a partir de uma rede de 110 VCA, 127 VCA, 220 VCA ou 237 VCA.*** Veja nas figuras seguintes, as diferentes formas de se combinar os enrolamentos do primário, a fim de se operar com diferentes tensões de rede.

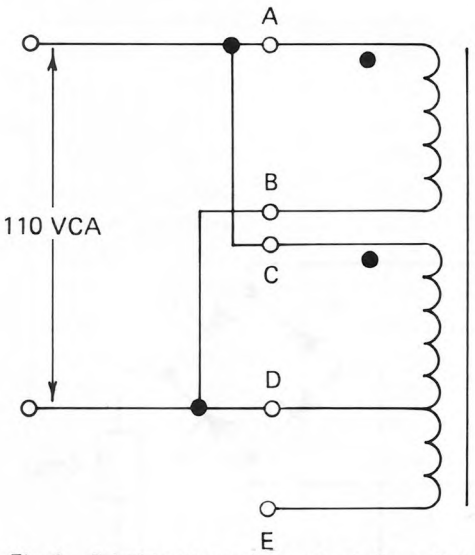


Fig. 4 — Primário do transformador da figura 3, ligado para operar em 110 VCA.

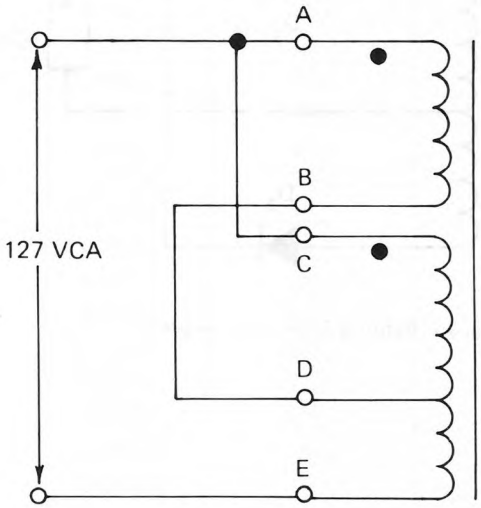


Fig. 5 — Primário do transformador da figura 3, ligado para operar em 127 VCA.

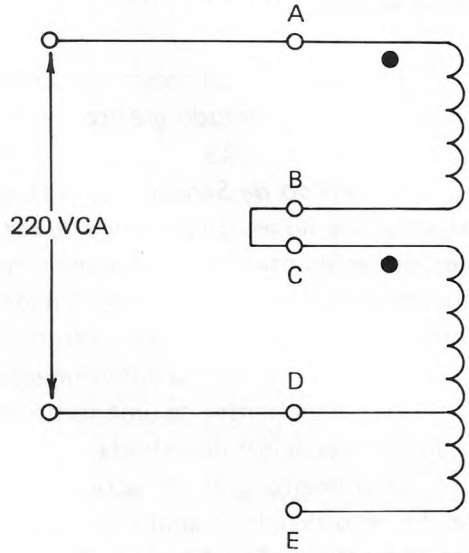


Fig. 6 — Primário do transformador da figura 3, ligado para operar em 220 VCA.

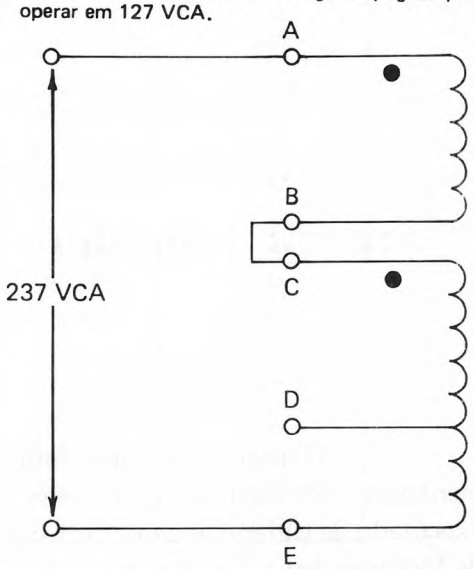


Fig 7 — Primário do transformador da figura 3, ligado para operar em 237 VCA.

Enquanto a tensão de cada enrolamento depende do respectivo número de espiras, ***a corrente depende do diâmetro do fio*** empregado. Conforme você já estudou na lição nº 4 – 2a. parte, para suportar uma ***corrente grande é necessário fio mais grosso*** (diâmetro maior), ***e se a corrente for pequena bastam fios mais finos*** (diâmetro menor).

3- Circuitos de retificação

Em uma fonte de alimentação, ***os circuitos de retificação são colocados em seguida ao transformador.*** Veja novamente a figura 1.

Você já estudou na lição 14 que existem 3 tipos básicos de circuitos de retificação: meia-onda com 1 diodo; onda completa com 2 diodos e em ponte com 4 diodos. O circuito de onda completa requer, além dos 2 diodos, um transformador cujo secundário deve ter uma derivação central.

As figuras 8, 9 e 10 apresentam os esquemas dos 3 tipos de circuitos de retificação, ligados ao secundário do transformador.

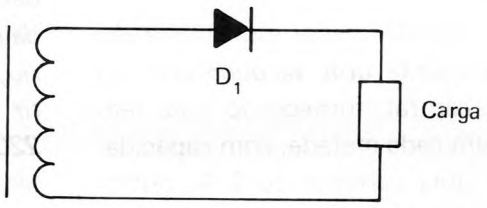


Fig. 8 – Retificação de meia-onda.

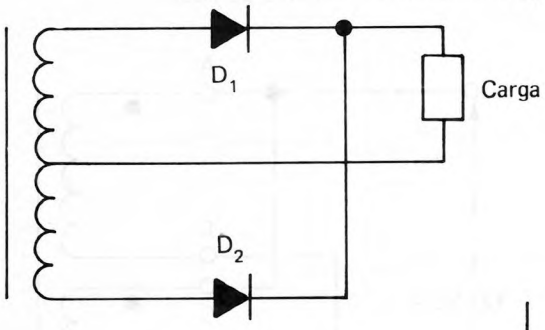


Fig. 9 – Retificação de onda completa.

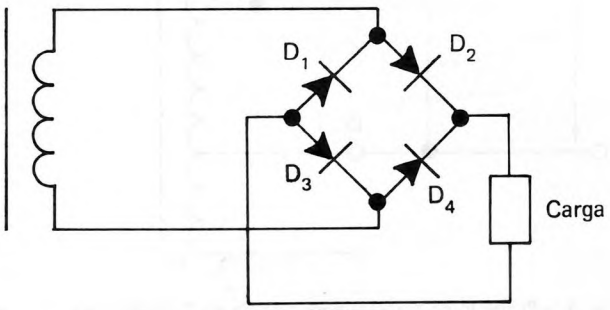


Fig. 10 – Retificação em ponte.

4- Projeto de uma fonte de alimentação com capacitor de entrada

O projeto de uma fonte de alimentação com capacitor de entrada pode ser executado de várias maneiras, inclusive através de fórmulas deduzidas teoricamente.

Entretanto, o processo mais prático continua sendo o ***método gráfico*** desenvolvido por Schade em 1 943.

O ***método de Schade*** emprega, além de algumas fórmulas, ***5 conjuntos de curvas.*** Antes de apresentarmos a seqüência de etapas que constituem o método de Schade, vamos tomar um primeiro contato com os 5 gráficos que são empregados na determinação dos valores dos componentes de uma fonte de alimentação com capacitor de entrada.

O primeiro gráfico, apresentado na figura 11, é utilizado quando se projeta uma ***fonte com retificação de meia-onda.***

Direitos reservados

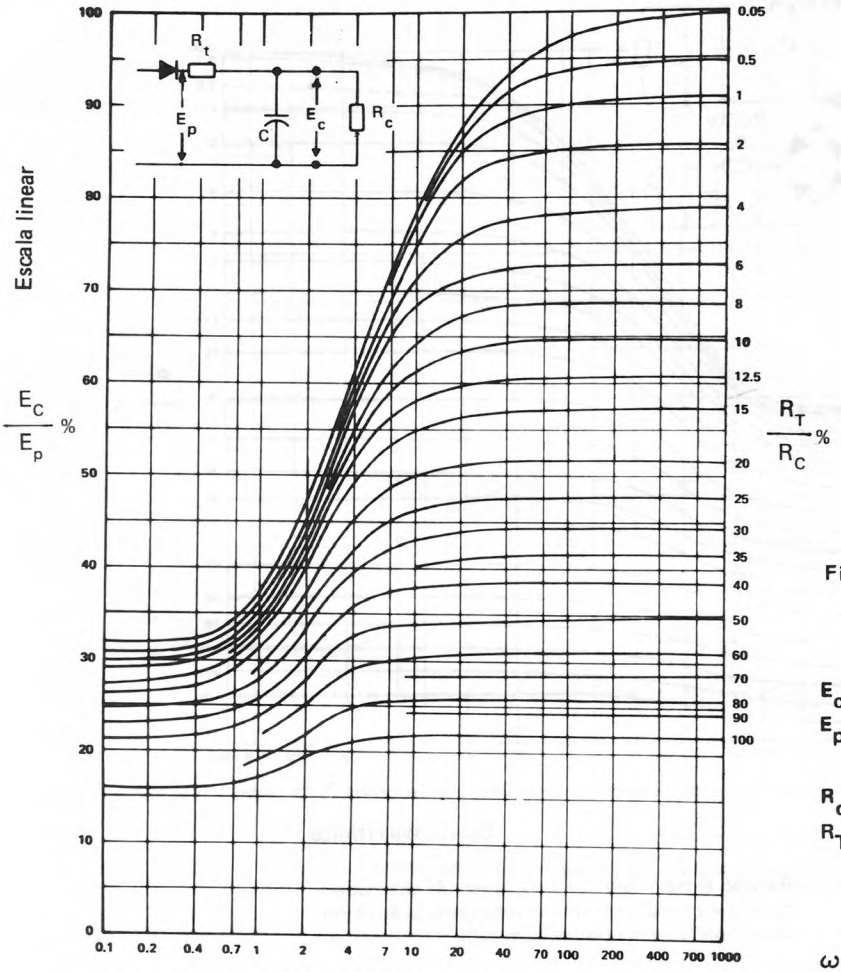


Fig. 11 — Relação entre o valor de pico da tensão alternada aplicada e a tensão contínua numa retificação de meia onda com capacitor de entrada.

E_c = tensão contínua sobre o capacitor.

E_p = valor de pico da tensão alternada (metade do valor pico-a-pico da tensão alternada).

R_c = resistência da carga, em ohms.

R_T = resistência total série, incluindo a resistência do transformador, da fiação, do diodo de qualquer outra que apareça em série, exceto a resistência da carga (R_c).

$\omega = 2\pi f$ — freqüência angular (ω — letra grega; lê-se ômega).

f = freqüência da corrente alternada.

Como você vê na figura 11, a abscissa (eixo horizontal) representa o fator ωCR_c em escala logarítmica; a ordenada (eixo vertical) representa a relação percentual entre a tensão contínua sobre o capacitor e a tensão de pico da corrente alternada (E_c/E_p); e cada curva tem como ***parâmetro*** a relação percentual entre a resistência total série e a resistência da carga (R_T/R_c). ***O parâmetro serve para distinguir uma curva da outra.*** No caso da figura 11, todas as curvas relacionam $\frac{E_c}{E_p}$ com o produto ωCR_c. Entretanto, a primeira curva, a contar de cima, vale para $\frac{R_T}{R_c} = 0{,}05\%$, a 2ª curva para $\frac{R_T}{R_c} = 0{,}5\%$, a 5a. curva para $\frac{R_T}{R_c} = 4\%$, etc.

Observe ainda que ***cada curva apresenta dois patamares:*** um para valores de ωCR_c menores que 1 e outro para valores de ωCR_c maiores que 10. ***O segundo patamar, para ωCR_c maior que 10, é a região "útil", isto é, a parte da curva onde se deve ficar.*** Ficando-se nesta parte, variações apreciáveis no fator ωCR_c não afetam muito o valor de $\frac{E_c}{E_p}$, isto é, ***mesmo com variações significativas de ωCR_c a tensão contínua sobre o capacitor (E_c) praticamente não varia.*** O fator ωCR_c apresenta variações em seu valor, provocado por alterações em R_c e pela tolerância no valor da capacitância (C).

Para algumas curvas o segundo patamar só é atingido para ωCR_c maior ou igual a 100. Isto, entretanto, não quer dizer que ωCR_c maior ou igual a 100 seja sempre bom. O produto ωCR_c fica maior que 100, aumentando-se o valor do capacitor (C). Com isso, a corrente de pico e a corrente de surto que passam pelo diodo aumentam. Em outras palavras, ***aumentando-se a capacitância (C) deve-se usar diodos mais reforçados.*** As correntes de pico e de surto podem ser diminuídas acrescentando-se um resistor em série com o diodo. Porém, isto não é interessante pois aumenta o valor da resistência total série (R_T) e, conseqüentemente, diminui o valor da tensão contínua sobre o capacitor (E_c).

Direitos reservados

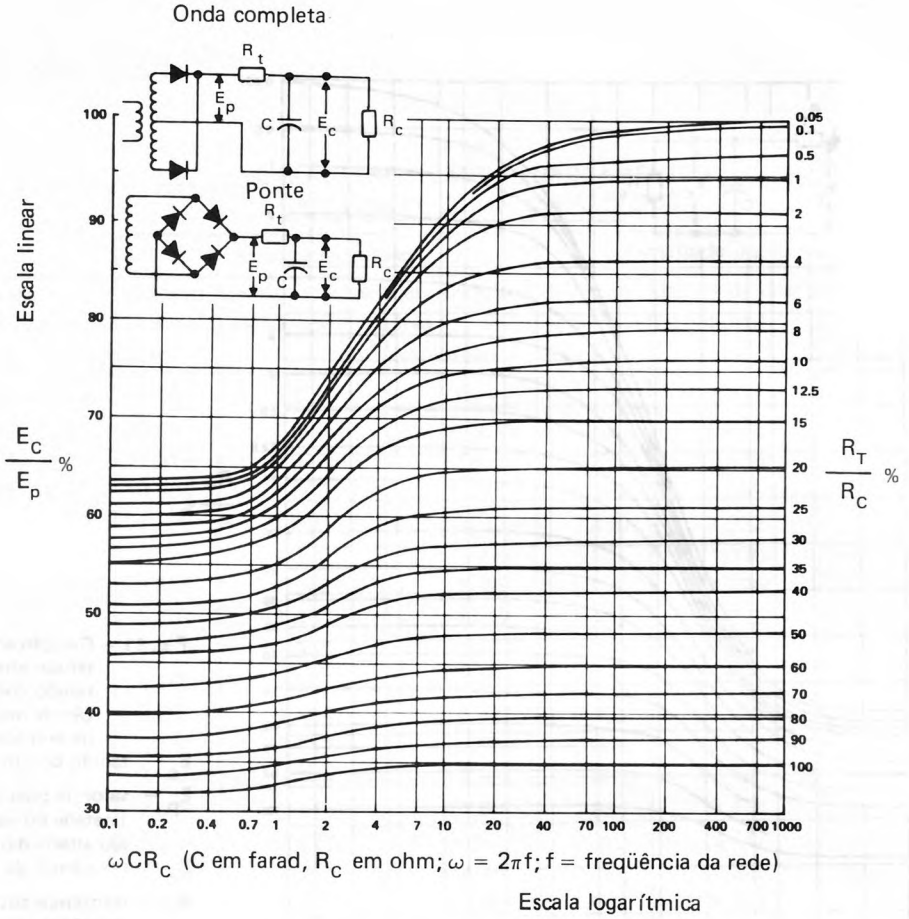


Fig. 12 — Relação entre o valor de pico da tensão alternada aplicada e a tensão contínua numa retificação de onda completa ou em ponte, com capacitor de entrada.

A figura 12 apresenta um conjunto de curvas aplicadas para a ***retificação de onda completa ou em ponte.*** As grandezas que caracterizam estas curvas são as mesmas da figura 11. Observe, por enquanto, o ***"achatamento" das curvas,*** isto é, a diminuição da distância entre os patamares. ***A razão é a maior eficiência da retificação de onda completa e em ponte*** do que a retificação de meia onda. ***A região "útil" é também o segundo patamar, atingido para ωCR_c maior que 10 em alguns casos e para ωCR_c maior que 100 em outros.*** Da mesma forma que no caso da retificação de meia onda, ωCR_c maior ou igual a 100 nem sempre é bom, pois pode comprometer outros elementos do circuito.

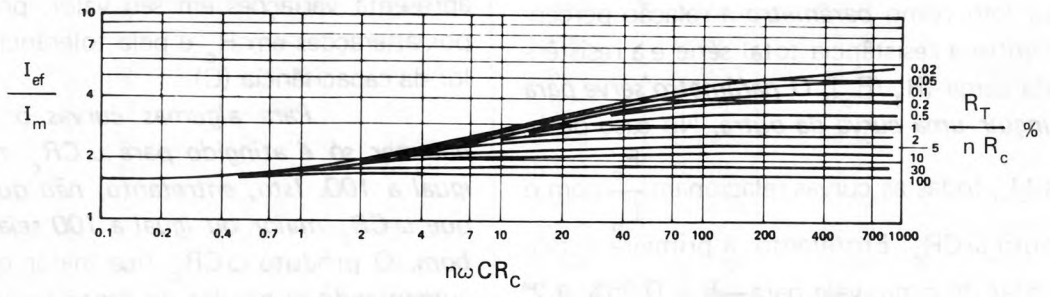


Fig. 13 — Relação entre a corrente eficaz e a corrente média dos diodos, nas retificações com capacitor de entrada.

A figura 13 mostra um ***conjunto de curvas que relaciona a corrente eficaz e a corrente média dos diodos.*** A abscissa (eixo horizontal) representa o fator $n\omega CR_c$, onde ωCR_c é o mesmo das figuras 11 e 12, e "n" vale 1 para retificação de meia onda e vale 2 para onda completa ou em ponte. A ordenada (eixo vertical) representa a relação entre a corrente eficaz e a corrente média (I_{ef}/I_m) de cada diodo, e o ***parâmetro*** das curvas é R_T/nR_c em %, onde "n" vale 1 para retificação de meia onda e 2 para retificação de onda completa ou em ponte.

Direitos reservados

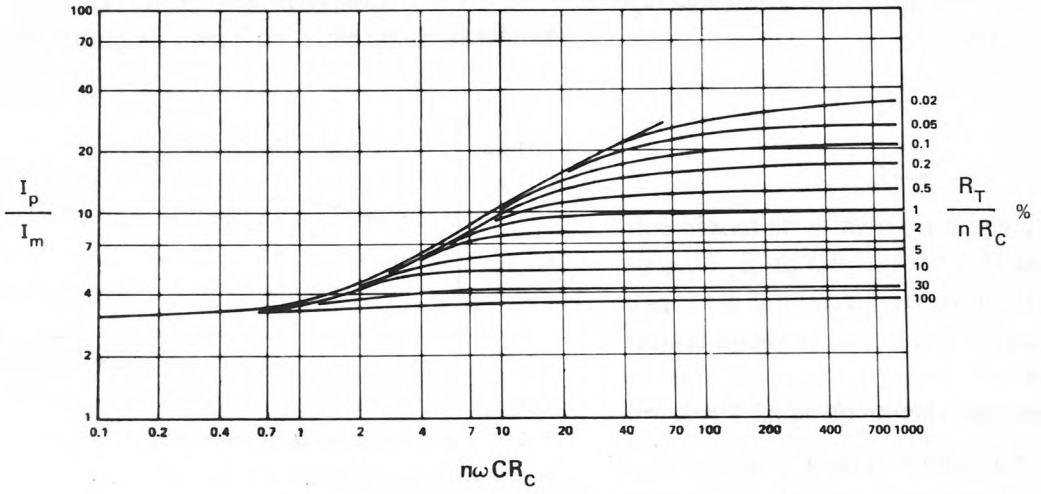


Fig. 14 — Relação entre a corrente de pico e a corrente média dos diodos, nas retificações com capacitor de entrada.

A figura 14 é semelhante às curvas da figura 13, só que ***a ordenada representa a relação entre a corrente de pico e a corrente média*** (I_p/I_m) ***de cada diodo.***

Finalmente, o conjunto de curvas da figura 15 relaciona a ***porcentagem da ondulação*** e o ***fator*** ωCR_c, tendo como *parâmetro* a relação porcentual R_T/R_c.

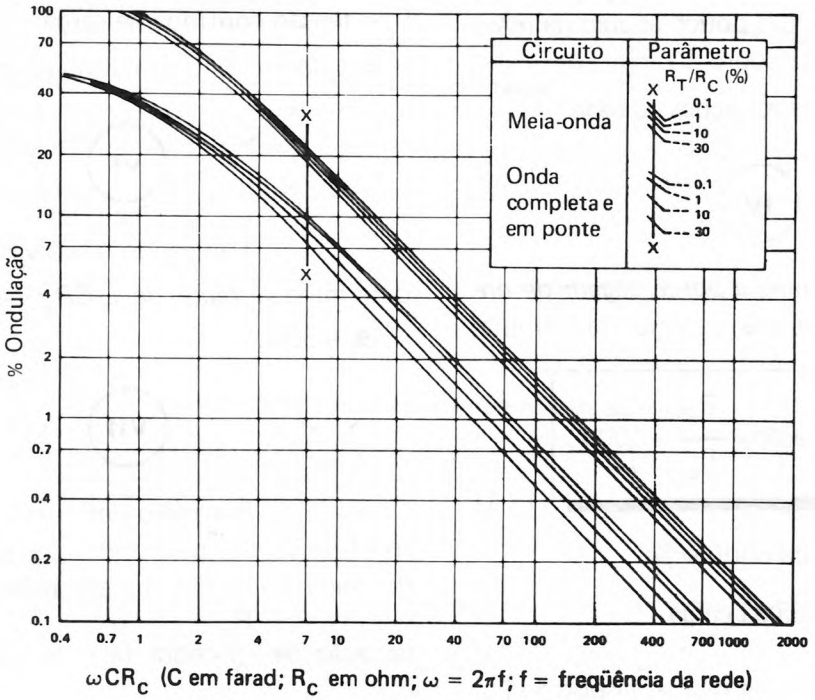


Fig. 15 — Porcentagem de ondulação das retificações com capacitor de entrada.

Depois de você ter tomado o primeiro contato com os gráficos que são utilizados no ***método de Schade,*** você irá agora conhecer as ***20 etapas*** que constituem o método e permitem determinar os ***valores dos componentes de uma fonte de alimentação com capacitor de entrada.***

"MÉTODO DE SCHADE"

1

Defina os seguintes requisitos da carga: tensão contínua na carga (E_c); % de

ondulação ; corrente absorvida pela carga (I_c) e freqüência da rede (f).

II

Determine o valor da ***tensão contínua na carga*** (E_c). A escolha de E_c deve ser efetuada dentro de certos limites impostos pela natureza da carga. Assim, em primeira aproximação tem-se:

$E_{c_{(max)}}$: deve ser menor ou igual à máxima tensão admitida pela carga menos a tensão de pico da ondulação antes da filtragem.

$E_{c_{(min)}}$: deve ser maior ou igual à tensão mínima da carga mais a tensão de pico da ondulação antes da filtragem.

Se não houver uma razão particular para escolher um determinado valor dentro desta faixa, escolha o ***valor médio.***

III

Escolha um ***valor de pico da tensão alternada*** (E_p), um pouco abaixo da máxima tensão contínua sobre a carga ($E_{c_{(max)}}$), levando em conta as variações da rede.

IV

Determine ***a porcentagem de ondulação*** aceitável, através da seguinte fórmula:

$$\% \text{ ondulação} = \frac{E_o}{E_c} \times 100\% \quad (17.1)$$

E_o = tensão eficaz da ondulação

E_c = tensão contínua da carga

No caso de não se dispor de E_o, mas sim do valor pico-a-pico das ondulações ($E_{o_{(p-p)}}$), pode-se calcular E_o por meio da seguinte fórmula:

$$E_o = \frac{E_{o_{(p-p)}}}{2{,}82} \quad (17.2)$$

E_o = tensão eficaz da ondulação

$E_{o_{(p-p)}}$ = tensão pico-a-pico da ondulação.

Observe no gráfico da figura 16 a indicação da tensão pico-a-pico da ondulação.

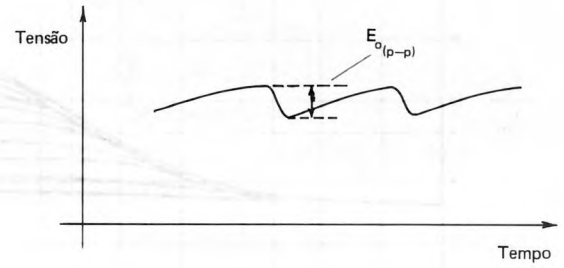


Fig. 16 – Tensão pico-a-pico da ondulação.

V

Determine a ***queda relativa de tensão no filtro,*** de acordo com a fórmula 17.3:

$$K = \frac{E_c}{E_p} \times 100\% \quad (17.3)$$

K = redução da tensão no filtro.

E_c = tensão contínua na carga.

E_p = valor de pico da tensão alternada.

VI

Utilizando as curvas da figura 15, determine a ***faixa de*** ωCR_c para $\frac{R_T}{R_c}$ entre 0,1% e 30%.

VII

Por meio das curvas da figura 11 (retificação de meia onda) ou 12 (retificação de onda completa ou em ponte), ***estreite a variação de*** $\frac{R_T}{R_c}$ para ficar compatível com o valor achado na etapa V.

VIII

Com a nova faixa para $\frac{R_T}{R_c}$ determinada na etapa VII, utilize novamente as curvas da figura 15 e ***estabeleça os novos limites de*** ωCR_c. Repita, se necessário, os passos VI, VII e VIII.

Direitos reservados

IX

Calcule o valor da resistência da carga (R_c), pela fórmula seguinte:

$$R_c = \frac{E_c}{I_c} \quad (17.4)$$

R_c = resistência da carga

E_c = tensão contínua na carga

I_c = corrente absorvida pela carga

X

Calcule o valor da ***freqüência angular,*** através da seguinte fórmula:

$$\omega = 2\pi f \quad (17.5)$$

ω = freqüência angular

f = freqüência da tensão alternada da rede

π = 3,14

XI

Calcule o valor da ***capacitância*** (C) do capacitor, por meio da fórmula 17.6:

$$C = \frac{\omega CR_c}{\omega R_c} \quad (17.6)$$

C = capacitância do capacitor, em farad.

ωCR_c = valor determinado graficamente na etapa VIII.

ω = valor determinado na etapa X.

R_c = resistência da carga, calculada na etapa IX.

XII

Determine o valor da ***resistência total série,*** através da fórmula seguinte:

$$R_T = \frac{R_T}{R_c} \times R_c \quad (17.7)$$

R_T = resistência total em série.

$\frac{R_T}{R_c}$ = valor determinado graficamente na etapa VII.

R_c = resistência da carga, calculada na etapa IX.

XIII

Utilizando as curvas das figuras 13 e 14, determine, respectivamente, a ***relação entre a corrente eficaz*** (I_{ef}) ***e a corrente média*** (I_m) e a ***relação entre a corrente de pico*** (I_p) ***e a corrente média*** (I_m) ***nos diodos.*** Depois de ter determinado graficamente estas duas relações, calcule o valor da corrente eficaz e da corrente de pico, lembrando que:

$$I_m = \frac{I_c}{n} \quad (17.8)$$

I_m = corrente média nos diodos

I_c = corrente absorvida pela carga

n = 1, para os circuitos de meia onda

n = 2, para os circuitos de onda completa ou em ponte.

XIV

Calcule a ***corrente de surto*** que deve ser suportada pelos diodos, através da fórmula seguinte:

$$I_{surto} = \frac{E_p}{R_T} \quad (17.9)$$

E_p = tensão de pico da corrente alternada

R_T = resistência total série.

O valor da corrente de surto calculado através da fórmula 17.9 é um valor teórico. Mas, quando se aumenta muito o valor do capacitor de filtro, tal como quando se faz ωCR_c maior que 100, a corrente de surto se aproxima bastante deste valor. Então, o diodo precisa ser escolhido para agüentar este valor teórico.

Direitos reservados

Se o ***circuito de retificação*** for ***em ponte,*** a corrente do secundário deve ser calculada através da fórmula 17.18.

$$I_s = 1{,}41 \times I_{ef} \quad (17.18)$$

(XX)

Determine a ***potência relativa*** (P_R) do transformador. As três fórmulas que permitem determinar a potência relativa, devem ser utilizadas de acordo com o tipo de retificação do circuito. Se a retificação for de ***meia onda,*** deve-se utilizar a fórmula 17.19; se a retificação for de ***onda completa*** deve-se empregar a fórmula 17.20; finalmente, se a retificação for ***em ponte,*** deve-se usar a fórmula 17.21.

$$P_R = E_s \times I_{ef} \quad (17.19)$$

$$P_R = 2\,E_s \times I_{ef} \quad (17.20)$$

$$P_R = 1{,}41\,E_s \times I_{ef} \quad (17.21)$$

Depois de você ter tomado conhecimento de todas as etapas que constituem o "Método de Schade", nada melhor do que repetir toda a receita, passo a passo, através de um exemplo numérico.

Exemplo

Uma carga absorve uma corrente de 1 A. A freqüência da rede de alimentação é de 60 Hz e o nível máximo de ondulação é de 3 V_{p-p}. Sabe-se também que $E_{c_{(max)}}$ é igual a 25 V e $E_{c_{(min)}}$ é igual a 7 V, e que o circuito de retificação é o de onda completa.

Solução

(I)

O enunciado do problema nos forneceu as seguintes informações:

$I_c = 1$ A $\quad E_{o_{p-p}} = 3V_{p-p} \quad f = 60$ Hz

$E_{c_{(max)}} = 25$ V $\quad E_{c_{(min)}} = 7$ V

Aplicando-se a fórmula 17.2, pode-se determinar o valor da ***tensão eficaz da ondulação:***

$$E_o = \frac{E_{o_{(p-p)}}}{2{,}82} \Rightarrow E_o = \frac{3}{2{,}82}$$

$$E_o = 1{,}1 \text{ V}$$

Por outro lado, ***o valor de pico da ondulação*** (E_{o_p}) é metade do valor pico-a-pico da ondulação. Então, tem-se:

$$E_{o_p} = \frac{E_{o_{p-p}}}{2} \Rightarrow E_o = \frac{3}{2} \Rightarrow E_o = 1{,}5 \text{ V}$$

(II)

Para determinarmos a ***tensão contínua sobre a carga*** (E_c), devemos estabelecer os valores máximos e mínimos. O ***valor máximo*** de E_c deve ser menor ou igual à máxima tensão admitida pela carga menos a tensão de pico da ondulação antes da filtragem.

$$E_{c_{(max)}} \leqslant 25 - 1{,}5 \Rightarrow E_{c_{(max)}} \leqslant 23{,}5 \text{ V}$$

O ***valor mínimo*** de E_c deve ser maior ou igual à tensão mínima da carga mais a tensão de pico da ondulação antes da filtragem.

$$E_{c_{(min)}} \geqslant 7 + 1{,}5 \Rightarrow E_{c_{(min)}} \geqslant 8{,}5 \text{ V}$$

Como o enunciado do problema não estabeleceu um valor preferencial, deve-se usar o ***valor médio:***

$$E_c = \frac{23{,}5 + 8{,}5}{2} \Rightarrow E_c = 16 \text{ V}$$

(III)

O ***valor de pico da tensão alternada*** (E_p) deve ser um pouco menor do que $E_{c_{(max)}}$. Admitindo uma variação de ±15% na rede, pode-se considerar E_c igual a 20 volts. Isto porque, mesmo que a tensão tenha um aumento de 15%, a tensão subiria para 23 volts, que ainda é menor que o valor de $E_{c_{(max)}}$.

Direitos reservados

IV

A porcentagem de ondulação é calculada através da fórmula 17.1:

$$\% \text{ ondulação} = \frac{E_o}{E_c} \times 100\%$$

$$\% \text{ ondulação} = \frac{1,1}{16} \times 100\%$$

$$\% \text{ ondulação} = 6,8\%$$

V

A *queda de tensão no filtro* será:

$$k = \frac{E_c}{E_p} \times 100\% \quad \Rightarrow \quad k = \frac{16}{20} \times 100\%$$

$$\underline{\underline{k = 80\%}}$$

VI

Na figura 15 existem dois grupos de 4 curvas cada um. Conforme o quadrinho explicativo, *o grupo de cima corresponde à retificação de meia onda e o grupo de baixo à retificação de onda completa e em ponte.* O quadrinho mostra ainda que, em cada grupo, a 1a. curva a contar de cima para baixo vale para $\frac{R_T}{R_c} = 0,1\%$; a 2a. curva vale para $\frac{R_T}{R_c} = 1\%$; a 3a. curva vale para $\frac{R_T}{R_c} = 10\%$, e finalmente a última curva corresponde a $\frac{R_T}{R_c} = 30\%$.

Como o enunciado do problema diz que o circuito é de *retificação de onda completa,* vale, portanto, o grupo de baixo.

Agora, marca-se no *eixo vertical* (ordenada) o *ponto A* para % ondulação = 6,8%, conforme o cálculo realizado no passo IV. Traça-se por este ponto uma *linha horizontal* até que corte o grupo mencionado de curvas. No *cruzamento* desta linha horizontal com a curva que corresponde a $\frac{R_T}{R_c} = 0,1\%$ (ponto B) traça-se uma *linha vertical* até o eixo horizontal (abscissa), determinando, portanto, o *ponto C.* Da mesma forma, do cruzamento da linha horizontal com a curva que corresponde a $\frac{R_T}{R_c} = 30\%$ (ponto D), traça-se outra *linha vertical* até cortar o eixo das abscissas, determinando o *ponto E.* Veja na figura 17 as linhas e pontos que acabamos de descrever.

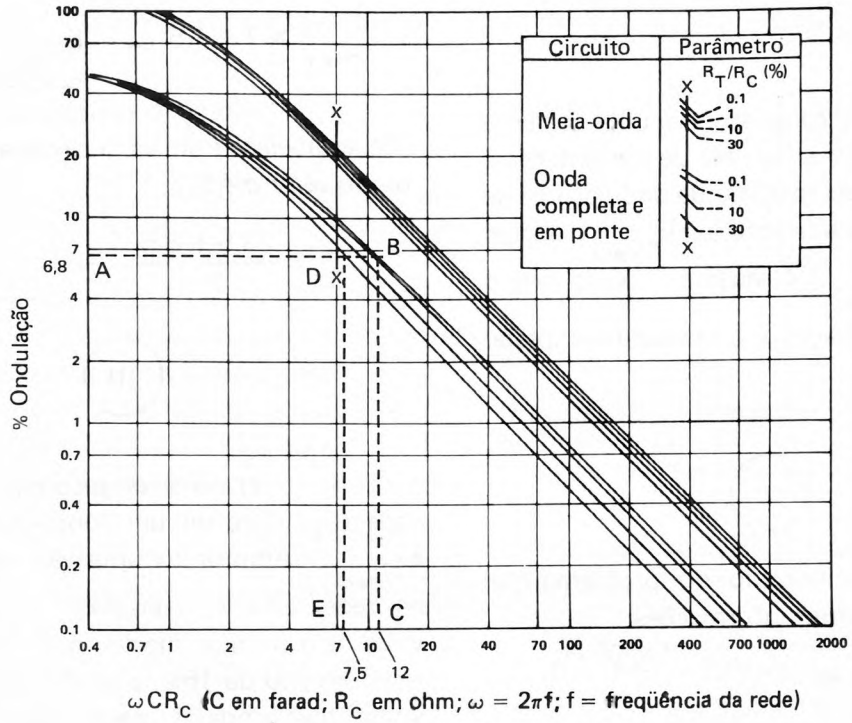


Fig. 17 — Determinação da faixa em que se encontra o fator ωCR_C, a partir da % de ondulação.

Direitos reservados

Vemos no gráfico da figura 17, que o ponto C corresponde a aproximadamente 12, e o ponto E corresponde a aproximadamente 7,5. Logo, ***o fator ωCR_c está compreendido entre 7,5 e 12,*** para a relação $\frac{R_T}{R_c}$ compreendida entre 0,1% e 30%.

VII

Como o circuito escolhido foi o de onda completa, a figura a ser utilizada é a 12. Nesta figura, marca-se na ordenada (eixo vertical) a redução achada no passo V: ***80% (ponto A)*** e por aí passa-se uma ***linha horizontal.*** Em seguida, marca-se no eixo das abscissas os pontos em que ***ωCR_c vale 7,5 e 12 (pontos B e C).*** A partir destes pontos ergue-se ***duas linhas verticais*** até encontrar a linha horizontal traçada a partir do ponto A. Nos ***cruzamentos (pontos D e E),*** verifica-se as curvas que passariam por estes pontos. Veja a figura 18.

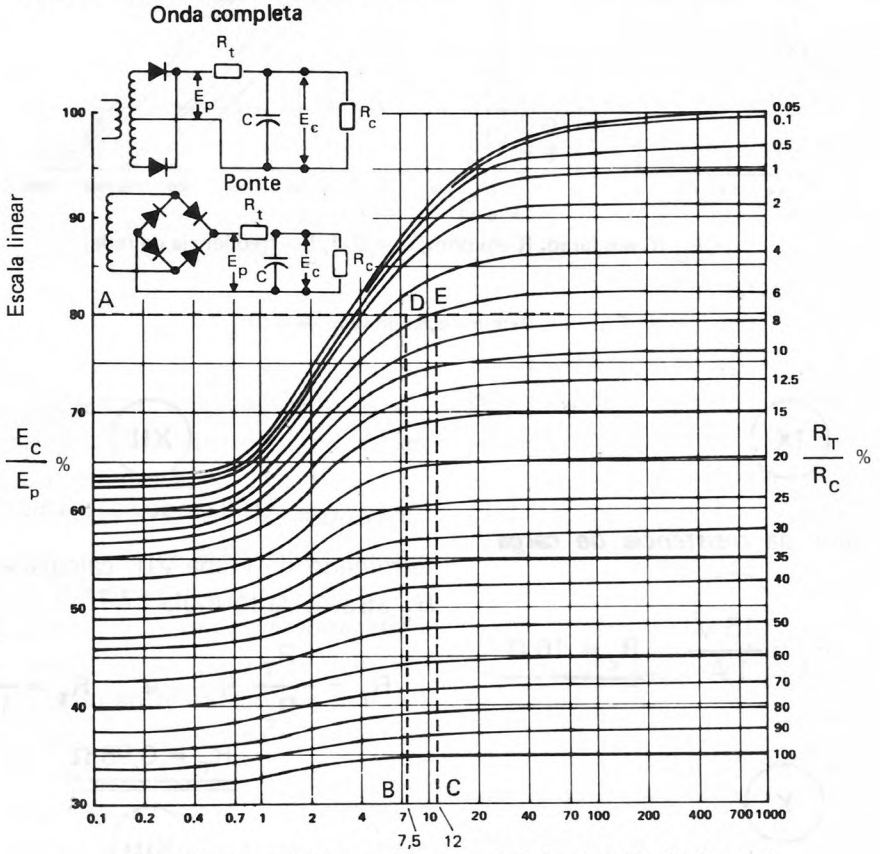


Fig. 18 — Determinação de $\frac{R_T}{R_C}$ %.

Observe que o ponto D está um pouco acima da curva para $\frac{R_T}{R_c} = 6\%$, enquanto que o ponto E está um pouco abaixo para esta mesma curva.

Como nesta situação a faixa estreitou bastante, pode-se escolher qualquer valor neste intervalo. Por exemplo, pode-se escolher $\frac{R_T}{R_c} = 6\%$.

Neste ponto vale mencionar que ***neste processo não adianta se preocupar em demasia com a precisão do cálculo.*** Verifique que existem curvas para $\frac{R_T}{R_C}$ igual a 1% e para 10%. Desse modo, não existe diferença prática entre um valor 5,5% e 6%. Assim, escolhe-se o valor inteiro mais próximo, que neste caso é 6%.

VIII

Voltando à figura 17 e entrando com o valor de $\frac{R_T}{R_C} = 6\%$ ***como parâmetro,*** o ***cruzamento*** com a ***linha horizontal*** que passa pelo ***ponto A*** (% ondulação = 6,8%) ***determina o ponto F.*** Traçando uma ***linha vertical*** pelo ***ponto F, determina-se o ponto G*** no eixo das abscissas, um pouco à esquerda de 10. Digamos $\omega CR_c = 9\%$. Veja a figura 19, que corresponde à figura 17 com estes novos pontos citados neste passo.

Direitos reservados

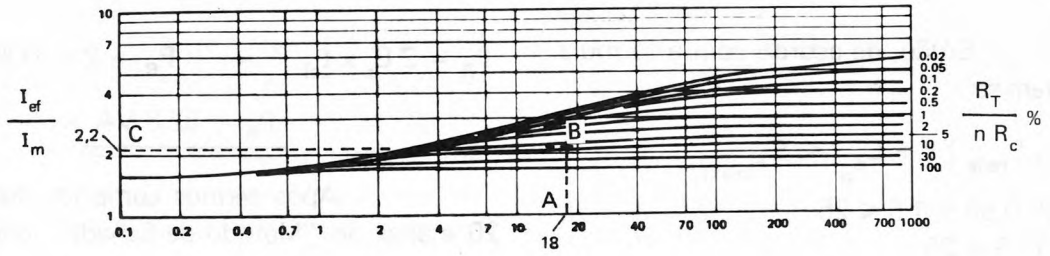


Fig. 20 – Determinação da relação $\frac{I_{ef}}{I_m}$.

Por meio da fórmula 17.8 podemos calcular o valor da ***corrente média nos diodos*** (I_m), e em seguida determinar o valor da ***corrente eficaz*** (I_{ef}) com base na relação determinada graficamente.

- $I_m = \frac{I_c}{2} \Rightarrow I_m = \frac{1}{2} \Rightarrow \underline{I_m = 0{,}5\ A}$

- $\frac{I_{ef}}{I_m} = 2{,}2 \Rightarrow I_{ef} = 2{,}2 \times I_m$

$I_{ef} = 2{,}2 \times 0{,}5 \Rightarrow \underline{I_{ef} = 1{,}1\ A}$

Num gráfico igual ao da figura 14 marca-se o ***ponto A*** no eixo das abscissas com $n\omega CR_c = 18$. Daí traça-se uma ***linha vertical*** até encontrar a curva para $\frac{R_T}{R_c} = 6\%$ e determina-se no ***cruzamento*** o ***ponto B.*** Traça-se uma ***linha horizontal*** passando pelo ***ponto B.***

O ***cruzamento*** desta linha horizontal com o eixo das ordenadas dá o ***ponto C,*** que corresponde à relação $\frac{I_p}{I_m} = 6$. Veja a figura 21, que é igual à figura 14 com os pontos e linhas que acabamos de descrever.

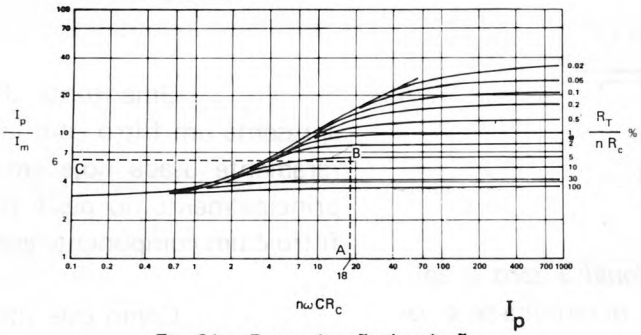


Fig. 21 – Determinação da relação $\frac{I_p}{I_m}$.

Como I_m vale 0,5, tem-se:

$\frac{I_p}{I_m} = 6 \Rightarrow I_p = 6 \times I_m \Rightarrow I_p = 6 \times 0{,}5$

$\underline{I_p = 3\ A}$

XIV

Aplicando-se os valores determinados nos passos III e XII na fórmula 17.9, tem-se:

$I_{surto} = \frac{E_p}{R_T} \Rightarrow I_{surto} = \frac{20\ V}{0{,}96} \quad \underline{I_{surto} = 20{,}8\ A}$

XV

A ***tensão de pico reversa*** será:

$E_{pr} = n\,E_p \Rightarrow E_{pr} = 2 \times 20 \quad \underline{E_{pr} = 40\ V}$

XVI

Agora vamos aplicar as fórmulas 17.11 e 17.12 para ***verificar se a tensão é adequada para o funcionamento da carga.*** Admitindo-se uma variação de 15% na tensão da rede tem-se:

$\Delta E_{rede} = \frac{15}{100} \times 20 \Rightarrow \underline{\Delta E_{rede} = 3\ V}$

Direitos reservados

Então, de acordo com a fórmula 17.11 tem-se:

$$(E_p + \Delta E_{rede})\, k + E_{o_p} \leqslant E_{c(max)}$$

$$(20 + 3)\, 0{,}80 + 1{,}5 \leqslant 25$$

$$19{,}9 \leqslant 25$$

Para a fórmula 17.12 tem-se:

$$(E_p - \Delta E_{rede})\, k - E_{o_p} \geqslant E_{c(min)}$$

$$(20 - 3)\, 0{,}80 - 1{,}5 \geqslant 7$$

$$12{,}1 \geqslant 7$$

Como você pode observar, os resultados obtidos estão adequados para o funcionamento da carga.

(XVII)

A ***tensão eficaz do secundário*** pode ser determinada pela fórmula 17.13:

$$E_s = \frac{E_p + n\,E_d}{1{,}41} \Rightarrow E_s = \frac{20 + 1 \times 1}{1{,}41}$$

$$E_s = 14{,}9\ V$$

(XVIII)

Fazendo ***R_d igual a zero*** e aplicando-se a fórmula 17.16, determina-se o valor da ***resistência do secundário.***

$$R_s = \frac{R_T - n\,R_d}{2} \Rightarrow R_s = \frac{0{,}96 - 0}{2}$$

$$R_s = 0{,}48\ \Omega$$

(XIX)

A ***corrente eficaz do secundário*** é determinada, neste caso, pela fórmula 17.17, pois trata-se de retificação de onda completa:

$$I_s = I_{ef} \Rightarrow I_s = 1{,}1\ A$$

(XX)

Finalmente, determina-se a ***potência relativa do transformador,*** através da fórmula 17.20:

$$P_R = 2\,E_s \times I_{ef} \Rightarrow P_R = 2 \times 14{,}9 \times 1{,}1$$

$$P_R = 32{,}8\ VA$$

Após termos cumprido todas as 20 etapas do "Método de Schade", conhecemos as características que o transformador, o diodo e o capacitor devem apresentar.

O ***transformador*** deve ter um secundário capaz de fornecer 14,9 V_{ef}, com corrente de 1,1 A_{ef} e com resistência de 0,48Ω

O ***diodo*** deve ser capaz de fornecer uma corrente de 1,1 A, suportar uma corrente de pico de 3 A e de surto de 20,8 A. Deve igualmente suportar uma tensão reversa de 40 V.

O ***capacitor*** deve ter uma capacitância de 1500μF e suportar uma tensão de trabalho de 23 volts.

5- Projeto de uma fonte de alimentação com indutor de entrada

Uma fonte de alimentação que apresenta um filtro com indutor de entrada é raramente usada hoje em dia. A razão está principalmente no peso, pois um indutor de filtro é um componente grande e pesado.

Como este tipo de fonte é pouco usado, não existe um método como aquele que vimos no capítulo anterior, onde utilizamos as curvas de Schade para determinar as características dos componentes. Entretanto, existem algumas fórmulas práticas que permitem determinar as principais características dos componentes envolvidos.

Um filtro com indutor de entrada só é utilizado com retificação de onda completa ou em ponte. Assim sendo, apresentamos a seguir as instruções para a determinação das principais características dos componentes das fontes de alimentação com estes dois tipos de retificação.

PARA RETIFICAÇÃO DE ONDA COMPLETA

A figura 22 apresenta um circuito de retificação de onda completa e filtro

Direitos reservados

com indutor de entrada, a partir do secundário do transformador.

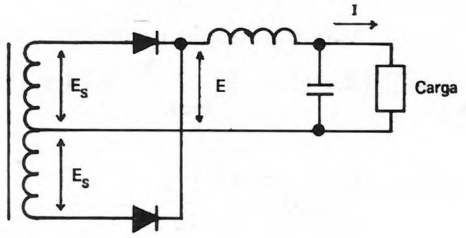


Fig. 22 – Circuito de retificação de onda completa, com indutor de entrada.

Para determinar as principais características dos componentes da figura 22, siga o seguinte procedimento.

I

Determine a ***tensão eficaz do secundário*** (E_s), por meio da fórmula 17.22:

$$E_s = 1{,}11 \times E \qquad (17.22)$$

E = Tensão contínua na entrada do filtro.

II

Calcule a ***máxima tensão inversa*** ($E_{i_{(max)}}$).

$$E_{i_{(max)}} = 3{,}14 \times E \qquad (17.23)$$

A ***máxima tensão inversa*** é o maior valor que a tensão inversa pode atingir entre dois pontos do circuito. Ela aparece devido às alternâncias da corrente alternada. Este valor é particularmente importante para os diodos, pois eles não conduzem quando lhes são aplicadas tensões inversas, isto é, com o negativo no anodo. Então, os diodos escolhidos devem apresentar uma característica que lhes permita suportar estas tensões inversas durante o período de não condução.

III

Determine a ***freqüência fundamental da ondulação*** (f_o), através da seguinte fórmula:

$$f_o = 2f \qquad (17.24)$$

f = freqüência da rede.

IV

Calcule o valor da ***tensão pico-a-pico da ondulação*** $E_{o_{(p-p)}}$ na entrada do filtro. Para a freqüência fundamental da ondulação vale a fórmula seguinte:

$$E_{o_{(p-p)}} = 0{,}667 \times E \qquad (17.25)$$

V

A ***corrente média*** que passa pelo ***diodo*** é uma fração da corrente total (I) que passa pela carga. Então, a corrente que passa em cada diodo (I_d) pode ser calculada pela fórmula:

$$I_d = 0{,}5 \times I \qquad (17.26)$$

VI

O valor da ***corrente eficaz em cada ramo do secundário*** (I_s) pode ser calculado através da fórmula 17.27.

$$I_s = 0{,}707 \times I \qquad (17.27)$$

VII

Baseando-se nos valores de tensão e corrente determinados nos passos I e IV, calcula-se a potência aparente fornecida ao circuito pelo secundário. Entretanto, a potência aparente que deve ser considerada para o dimensionamento do secundário (e portanto do transformador), precisa levar em conta o ***fator de utilização*** (γ), que para a retificação de onda completa vale 0,637.

A fórmula 17.28 permite calcular a potência aparente que o transformador deve apresentar:

Direitos reservados

$P_{a_f} = 2 \times E_s \times I_s$

$P_{a_f} = 2 \times 16,7 \times 1,41$

$P_{a_f} = 47,1$ VA

Como se trata de retificação de onda completa, o fator de utilização (γ) vale 0,637. Então, aplicando-se a fórmula 17.28 determina-se a ***potência aparente*** que deve ser considerada para o dimensionamento do transformador.

$$P_a = \frac{P_{a_f}}{\gamma} \Rightarrow P_a = \frac{47,1}{0,637} \Rightarrow P_a = 73,9 \text{ VA}$$

Com base nos valores que acabamos de calcular, podemos afirmar o seguinte: 1°) o secundário do transformador deve fornecer uma tensão de 16,7 V_{ef} com uma corrente de 1,41 A_{ef}. O transformador deve estar dimensionado para 73,9 VA; 2°) O diodo deve suportar uma corrente média de 1 A e uma tensão inversa de 47,1 V. Observe que neste caso não há corrente de surto; 3°) a ondulação na entrada do filtro tem uma amplitude de 10 V_{p-p} na freqüência de 120 Hz.

Agora, você vai conhecer o procedimento para a determinação das principais características de uma fonte de alimentação com indutor de entrada, quando é utilizado a retificação em ponte.

PARA RETIFICAÇÃO EM PONTE

A figura 23 aprensenta um circuito de retificação em ponte e filtro com indutor de entrada, a partir do secundário do transformador.

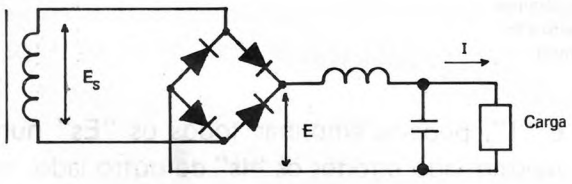


Fig. 23 – Circuito de retificação em ponte com indutor de entrada.

Para determinar as principais características dos componentes da figura 23, você pode utilizar o mesmo procedimento usado para o circuito de retificação de onda completa, com apenas duas alterações.

A primeira alteração se refere ao cálculo da ***máxima tensão inversa,*** no segundo passo. Para o circuito de ***retificação em ponte,*** a fórmula que deve ser utilizada é a 17.29:

$$E_{i_{(max)}} = 1,57 \times E \qquad (17.29)$$

A segunda alteração que deve ser observada é no último passo (VII). O ***fator de utilização*** para o circuito de onda completa é 0,637, enquanto que este mesmo fator para a ***retificação em ponte*** vale ***0,900.*** Assim sendo, teremos:

$$P_a = \frac{P_{a_f}}{\gamma} \qquad (17.30)$$

P_a = potência aparente do transformador

P_{a_f} = potência aparente fornecida ao circuito

γ = 0,900 – fator de utilização

6- Projeto de pequenos transformadores de alimentação

Os transformadores de alimentação ou transformadores de força empregados na maioria dos aparelhos eletrônicos entram na categoria dos "pequenos transformadores".

O projeto de um pequeno transformador é um processo mais ou menos complicado, envolvendo sempre tentativas. Não existe realmente uma receita do tipo "pegue isto, ponha aquilo, faça assim e pronto".

Além disso, existe um grande número de variáveis que é difícil controlar todas elas com a precisão desejável. E, para completar, os dados fornecidos pelos fabricantes de materiais magnéticos também têm variações apreciáveis.

Então, ***o normal é fazer algumas tentativas até obter um resultado satisfatório,*** isto é, possível de ser executado. Monta-se o transformador de acordo com os cálculos executados, mede-se e faz-se os ajustes necessários.

Direitos reservados

Apresentamos a seguir uma seqüência de etapas, que permitem determinar as dimensões dos componentes de um transformador de alimentação.

I

Seção do núcleo

A seção do núcleo varia de acordo com o tipo e a qualidade do material, do fluxo magnético máximo, da freqüência da rede, da potência, do fator de empilhamento, etc.

Fazendo-se uma média dos materiais encontrados no mercado, pode-se assumir os seguintes valores:
f = 60 Hertz
perdas no ferro = 1,7 a 2 W/kg
capacidade de corrente nos fios = 2 A/mm²
fluxo máximo = 1 Tesla (10 000 Gauss)

Uma fórmula prática que permite determinar o valor da ***seção do núcleo*** é a seguinte:

$$S = \sqrt{P} \qquad (17.31)$$

S = seção do núcleo, em cm²
P = potência do transformador em watts. Admitir um fator de potência igual a 1, e usar o mesmo valor da potência aparente.

Deve-se fazer uma pesquisa no mercado para verificar quais as possibilidades de realização prática, pois as lâminas que se encontram à venda apresentam formatos e dimensões particulares.

Os ***formatos*** mais comuns para as lâminas são: "C", "U–I", "E–I" ou "F". Veja nas figuras seguintes algumas montagens de núcleo utilizando-se os ***diferentes tipos de lâminas.***

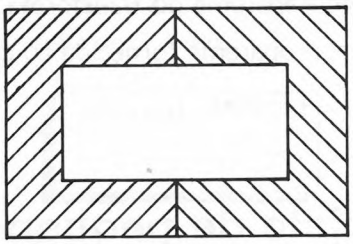


Fig. 24 – Transformador com núcleo formado por lâmina em "C". O enrolamento pode ser distribuído nas 2 pernas ou numa só.

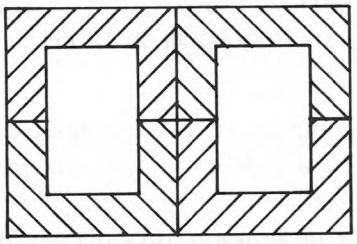


Fig. 25 – Transformador com núcleo formado por 4 "Cs". O enrolamento é feito na perna central.

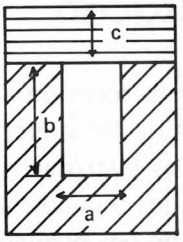


Fig. 26 – Núcleo de um transformador formado por lâminas "U–I". O enrolamento pode ser feito nas duas pernas ou numa só.

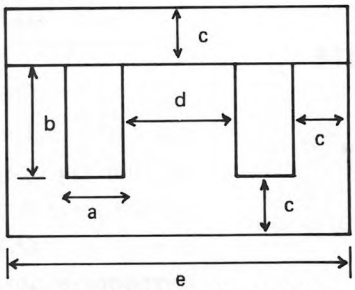


Fig. 27 – Núcleo formado por lâminas "E–I". O enrolamento é feito sobre a perna central.

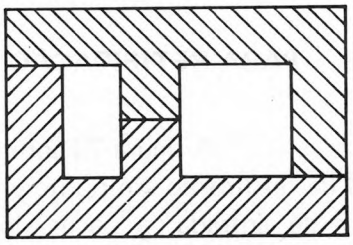


Fig. 28 – Núcleo formado por lâminas em forma de "F".

Um outro fator que deve ser considerado é a maneira de se ***empilhar*** as lâminas para formar o núcleo.

No caso dos núcleos formados com lâminas em forma de "C", não há outro jeito a não ser colocar as lâminas uma em cima da outra. Neste caso, para diminuir o entreferro na junção das lâminas, deve-se tomar o cuidado de remover todas as rebarbas, de modo que a junção seja a melhor possível.

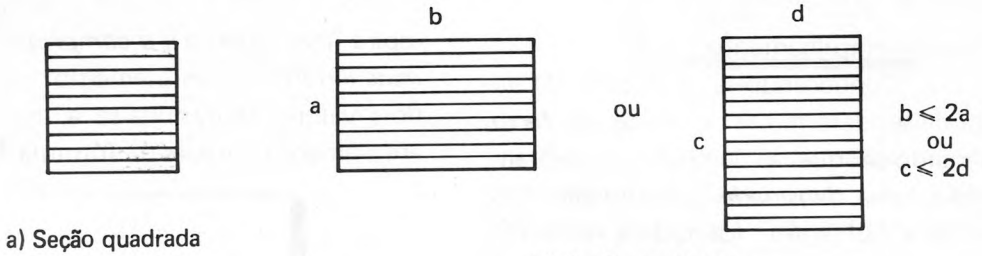
Para as lâminas em forma de "E" e "I", pode-se empilhar todos os "Es" num mesmo lado e todos os "Is" do outro lado, ou então alterná-las 1 a 1, 2 a 2 ou 4 a 4. ***O empilhamento alternado reduz um pouco o fator de empilhamento, mas permite obter menores entreferros, de modo que é aconselhável fazer a alternância no empilhamento.***

O ***fator de empilhamento*** é a relação entre a área efetivamente ocupada pelo núcleo e a área total do núcleo. Varia de 0,88 a 0,94 conforme a espessura e o modo de em-

Direitos reservados

pilhamento, mas pode-se adotar um valor médio de 0,90. Mas, você não precisa se preocupar com este fator, pois na fórmula 17.31 este fator já está considerado.

O valor da seção do núcleo (S) que se vai usar deve ser igual ou maior que o valor calculado através da fórmula 17.31. O melhor resultado é conseguido com ***núcleos de seção quadrada,*** mas pode-se admitir uma seção retangular, desde que a dimensão maior fique menor que o dobro da dimensão menor. Veja a representação na figura 29.



a) Seção quadrada

b) Seção retangular

Fig. 29 — Núcleos de seção quadrada e retangular.

II

Número de espiras por volt

O número de espiras por volt pode ser determinado através da seguinte fórmula, obtida através da prática.

$$n = \frac{37,5}{S} \qquad (17.32)$$

n = número de espiras por volt.
S = área da seção do núcleo.

A fórmula 17.32 é válida quando a ***freqüência da rede é de 60 Hertz.***

III

Número de espiras dos enrolamentos

Para determinar o ***número de espiras dos enrolamentos*** (N), basta multiplicar a tensão de cada enrolamento (E) pelo número de espiras por volt (n) determinado no passo II. Veja a fórmula 17.33.

$$N = E \times n \qquad (17.33)$$

IV

Seção dos fios

A ***capacidade de condução*** dos fios do enrolamento depende da seção dos fios, do tamanho do transformador, do tipo de material de isolação, etc. Com relação à seção dos fios, pode-se afirmar que ***quanto maior a seção, maior a capacidade de condução por unidade de área.***

Na prática pode-se adotar nos transformadores para fontes de alimentação uma ***densidade média*** de 2A/mm². Então, é só determinar a ***corrente eficaz*** de cada enrolamento, dividir pela densidade e escolher o fio cuja seção seja igual ou imediatamente maior que o valor calculado. Veja a fórmula 17.34.

$$S_f = \frac{I_{ef}}{d} \qquad (17.34)$$

S_f = seção do fio, em mm²
I_{ef} = corrente eficaz de cada enrolamento, em ampère.
d = densidade da corrente = 2 A/mm² (valor médio)

V

Perdas no núcleo

Para se determinar as perdas de potência que ocorrem no núcleo, é preciso seguir a seguinte seqüência.

Em primeiro lugar determina-se o ***volume do núcleo,*** multiplicando a ***área de cada lâmina*** (A_L) pela ***altura do empilhamento*** (h), conforme está indicado pela fórmula 17.35

Direitos reservados

$$V_N = A_L \times h \qquad (17.35)$$

V_N = volume do núcleo.

A_L = área de cada lâmina.

h = altura do empilhamento.

Conhecendo-se o ***volume do núcleo,*** pode-se determinar a ***massa de ferro,*** considerando-se que as lâminas apresentam, em média, uma ***densidade*** aproximadamente igual a 7,5 x 10^3 kg/m^3 (densidade do ferro).

$$m_{Fe} = V_N \times d_{Fe} \qquad (17.36)$$

m_{Fe} = massa de ferro, em kg.

d_{Fe} = densidade do ferro = 7,5 x 10^3 kg/m^3

V_N = volume do núcleo, em m^3.

Sabendo-se a massa de ferro presente no núcleo, determina-se a ***perda total do núcleo,*** levando-se em consideração que a perda é em média de 2 W/kg.

$$P_{Fe} = m_{Fe} \times p_{Fe} \qquad (17.37)$$

P_{Fe} = perdas no núcleo

p_{Fe} = fator médio de perda = 2 W/kg.

VI

Verificação das dimensões

Neste ponto é preciso verificar se o enrolamento cabe na janela do núcleo. Como dissemos no início deste capítulo, ***a construção de um transformador de alimentação requer tentativas.*** Algumas vezes, as dimensões do enrolamento não cabem na janela do núcleo. Daí ser necessário este passo, onde se faz a verificação das dimensões.

É preciso considerar a forma do enrolamento, a isolação do fio, a isolação entre as camadas, a isolação entre enrolamentos e as folgas em relação à janela.

Se o enrolamento ficar muito folgado ou se não couber na janela, é preciso fazer as devidas correções, considerando tanto o núcleo como o diâmetro dos fios.

VII

Espira média de cada enrolamento

Para se determinar o ***comprimento médio das espiras*** que compõem cada enrolamento, é preciso calcular o ***comprimento da espira mais interna e o comprimento da espira mais externa*** do enrolamento. De posse destes dois valores determina-se a espira média do enrolamento, através da fórmula 17.38.

$$c_m = \frac{c_{in} + c_{ex}}{2} \qquad (17.38)$$

c_m = comprimento médio das espiras do enrolamento

c_{in} = comprimento da espira mais interna

c_{ex} = comprimento da espira mais externa

O comprimento da espira interna (c_{in}) e da espira externa (c_{ex}) é determinado a partir da geometria do próprio enrolamento.

VIII

Resistência dos enrolamentos

Para se determinar a ***resistência total*** de cada enrolamento, é preciso calcular em primeiro lugar o ***comprimento total do enrolamento,*** para em seguida determinar o valor da resistência total.

O comprimento total (c_T) do fio que constitui o enrolamento é calculado multiplicando-se o ***comprimento médio*** (c_m) determinado na etapa VII, pelo ***número de espiras do enrolamento*** (N), determinado na etapa III.

$$c_T = c_m \times N \qquad (17.39)$$

A ***resistência de cada enrolamento*** (R) é determinada multiplicando-se o ***comprimento total do fio*** (c_T) pela ***resistência por unidade de comprimento*** (R_u), que é um valor tabelado.

$$R = c_T \times R_u \qquad (17.40)$$

Direitos reservados

IX

Perdas no cobre

As ***perdas no cobre para cada enrolamento*** é determinada através da fórmula 17.41.

$$P_{Cu} = R \times I^2 \qquad (17.41)$$

P_{Cu} = perdas no cobre para cada enrolamento.
R = resistência de cada enrolamento, calculado na etapa VIII.
I = corrente em cada enrolamento.

A perda total no cobre é a soma das perdas em cada enrolamento, e deve apresentar um valor próximo ao encontrado no passo V.

A ***tolerância*** sobre esta "proximidade" varia sob inúmeros fatores, não só do próprio transformador, mas de como ele é operado. A grosso modo, porém, aceita-se uma ***variação de até 20%.***

Caso a diferença seja maior, deve-se proceder a um ajuste: ***aumentando-se a seção do núcleo, aumenta-se as perdas no núcleo, enquanto que diminui-se as perdas no cobre.***

X

Temperatura de funcionamento

Finalmente, é preciso considerar-se a temperatura de funcionamento do transformador.

Esta temperatura depende do tipo de material empregado na isolação dos fios e dos enrolamentos. A temperatura máxima varia de 105°C a 200°C.

Nos equipamentos domésticos como rádio e televisão é considerado o limite de 105°C. Então, se se considerar uma temperatura ambiente de 60°C (esta temperatura é a existente dentro do aparelho e não na sala), pode-se admitir uma elevação dentro do transformador de 40°C e ainda ter uma margem de segurança de 5°C.

Pode-se fazer uma estimativa da elevação da temperatura, fazendo uso do gráfico da figura 30.

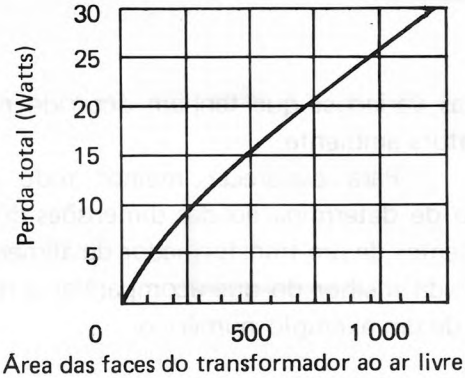


Fig. 30 — Perda total de potência em função da área das faces do transformador ao ar livre, para uma elevação de 40°C acima da temperatura ambiente.

O gráfico da figura 30 dá a potência que pode ser dissipada (perdida) pelo transformador em função do seu tamanho, para uma elevação de 40°C na temperatura.

Daí, supondo uma variação linear, pode-se calcular a elevação da temperatura para qualquer potência e para qualquer núcleo.

Após a confecção do transformador, a temperatura pode ser determinada medindo-se as resistências dos enrolamentos "a frio" e "a quente". ***Chama-se resistência "a frio" a resistência do enrolamento do transformador que permaneceu desligado por mais de duas horas. Chama-se resistência "a quente", a resistência do mesmo enrolamento após o funcionamento durante duas horas, com carga máxima prevista.*** A medição da resistência "a quente" é feita imediatamente após o desligamento.

A fórmula que permite determinar a resistência com a variação da temperatura é a seguinte:

$$R_2 = R_1 \left[1 + \alpha (T_2 - T_1) \right] \qquad (17.42)$$

R_2 = resistência à temperatura T_2 (quente)
R_1 = resistência à temperatura T_1 (frio)
α = coeficiente de variação da resistividade (vale 4×10^{-3}/°C para o cobre).

A partir da fórmula 17.42 pode-se deduzir a fórmula que permite determinar a variação da temperatura.

$$T_2 - T_1 = \frac{R_2 - R_1}{\alpha R_1} \qquad (17.43)$$

É preciso observar que para se encontrar a variação real é necessário com-

Direitos reservados

pensar as variações que tenham ocorrido na temperatura ambiente.

Para esclarecer melhor todo o processo de determinação das dimensões dos componentes de um transformador de alimentação, nada melhor do que acompanhar a resolução de um exemplo numérico.

Exemplo

Projetar um transformador de 100 VA, com primário de 110 VCA, 60 Hertz, e com secundário de 6 volts.

Solução

Para determinarmos as dimensões que o transformador deve apresentar, vamos seguir as etapas anteriormente apresentadas.

(1)

Seção do núcleo

O enunciado da questão nos fornece a potência aparente do transformador. Então, admitindo-se um fator de potência igual a 1, pode-se determinar o valor aproximado da seção do núcleo (S), através da fórmula 17.31:

$$S = \sqrt{P} \Rightarrow S = \sqrt{100} \Rightarrow S = 10\ cm^2$$

Do catálogo de produtos da TESSIN, encontramos lâminas no formato "E–I", com as dimensões indicadas na figura 31 e especificadas na tabela I.

TABELA I

ESPECIFICAÇÕES DAS DIMENSÕES, EM MILÍMETROS DAS LÂMINAS E–I FABRICADAS PELA TESSIN

Modelo	a	b	c	d	e	Furos de fixação
4HS–254	12,7	25,4	76,2	38,1	63,5	4 furos de fixação
4HS–286	14,3	28,6	85,8	42,9	71,5	4 furos de fixação
4HS–320	16,0	32,0	96,0	48,0	80,0	4 furos de fixação
4HS–350	17,5	35,0	105	52,5	87,5	4 furos de fixação
4HS–380	19,0	38,0	114	57,0	95,0	4 furos de fixação
4HS–400	20,0	40,0	120	60,0	100	4 furos de fixação
4HS–220	11,0	22,0	66,0	33,0	55,0	4 furos de fixação
S–200	10,0	20,0	60,0	30,0	50,0	Sem furos de fixação
2HS–160	8,0	16,0	48,0	24,0	40,0	2 furos de fixação

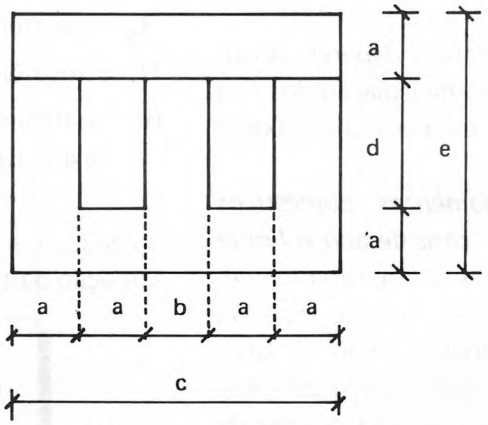


Fig. 31 – Lâminas E–I da TESSIN, com a indicação das dimensões.

Dando preferência a uma seção quadrada, pode-se escolher a lâmina 4HS–320. Então, com uma perna central de 32 mm e um empilhamento de 32 mm, tem-se:

$S = 3{,}2\ cm \times 3{,}2\ cm \Rightarrow S = 10{,}2\ cm^2$

Direitos reservados

Como neste nosso caso ***o enrolamento será feito apenas na perna central,*** determinamos o valor preciso da ***seção do núcleo,*** multiplicando a ***largura da perna central pela altura do empilhamento.*** Mas, no caso de se utilizar lâminas em forma de "C", com enrolamento feito nas duas pernas, a área da seção do núcleo é calculada levando-se em consideração a área das duas pernas.

II

Número de espiras por volt

O número de espiras por volt é calculado através da fórmula 17.32:

$$n = \frac{37,5}{S} \Rightarrow n = \frac{37,5}{10,2}$$

$$n = 3,7 \text{ espiras por volt}$$

III

Número de espiras dos enrolamentos

O número de espiras do primário e do secundário é calculado através da fórmula 17.33:

$$N_p = E_p \times n \Rightarrow N_p = 110 \times 3,7$$

$$N_p = 407 \text{ espiras}$$

$$N_s = E_s \times n \Rightarrow N_s = 6 \times 3,7$$

$$N_s = 22 \text{ espiras}$$

IV

Seção dos fios

A escolha dos fios adequados para enrolar o primário e o secundário, depende da corrente que passa por estes enrolamentos. Então, deve-se calcular a corrente que passa em cada enrolamento (através da potência e da tensão), para em seguida aplicar a fórmula 17.34 que dará o valor da seção do fio. De posse deste valor, consulta-se uma tabela de fios e escolhe-se o tipo adequado.

Com relação ao primário tem-se:

$$I_p = \frac{P}{E_p} \Rightarrow I_p = \frac{100 \text{ volts-ampères}}{110 \text{ volts}}$$

$$I_p = 0,91 \text{ A}$$

Aplicando-se agora a fórmula 17.34, obtém-se:

$$S_f = \frac{I}{d} \Rightarrow S_f = \frac{0,91}{2} \Rightarrow S_f = 0,455 \text{ mm}^2$$

Consultando-se uma tabela de fios, encontra-se o fio nº 21 AWG com área de 0,4105 mm² e o fio nº 20 AWG com área de 0,5176 mm². Logicamente, ***a escolha deverá recair sobre o fio mais grosso,*** isto é, deve-se escolher o fio nº 20 AWG para fazer o primário.

Fazendo-se o mesmo tipo de cálculo para o secundário, determina-se o fio adequado para este enrolamento.

$$I_s = \frac{P}{E_s} \Rightarrow I_s = \frac{100 \text{ volt-ampères}}{6 \text{ volts}}$$

$$I_s = 16,7 \text{ A}$$

$$S_f = \frac{I}{d} \Rightarrow S_f = \frac{16,7}{2} \Rightarrow S_f = 8,35 \text{ mm}^2$$

Consultando-se uma tabela de fios, encontra-se os seguintes valores: fio nº 9 AWG com seção de 6,634 mm² e o fio nº 8 AWG com seção de 8,365 mm². Comparando-se estes valores com o valor calculado, verifica-se que a escolha deve recair sobre o fio nº 8 AWG, por ser o fio mais grosso.

V

Perdas no núcleo

Para determinarmos as perdas de potência no núcleo, devemos em primeiro lugar determinar a área de cada lâmina.

Área da lâmina "E"

A determinação da área da lâmina "E" fica facilitada se for feita a divisão em 4 partes, conforme está indicado na figura 32.

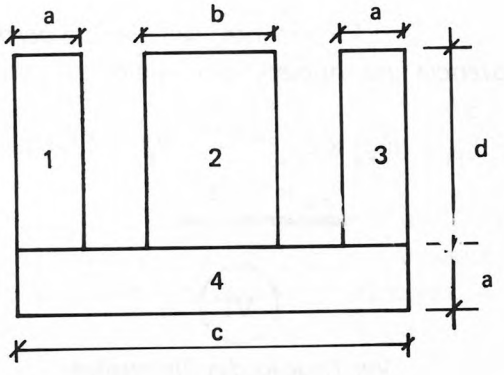


Fig. 32 — Lâmina "E" dividida em 4 pedaços.

Direitos reservados

A área do pedaço 1 é:

$a \times d = 16,0 \times 48,0 = 768\ mm^2$

A área do pedaço 2 é:

$b \times d = 32,0 \times 48,0 = 1\,536\ mm^2$

A área do pedaço 3 é:

$a \times d = 16,0 \times 48,0 = 768\ mm^2$

A área do pedaço 4 é:

$a \times c = 16,0 \times 96,0 = 1\,536\ mm^2$

Portanto, a área total da lâmina "E" será a soma das áreas dos 4 pedaços:

$A_E = 768 + 1\,536 + 768 + 1\,536$

$A_E = 4\,608\ mm^2$ ou $46,1\ cm^2$

Área da lâmina "I"

A área da lâmina "I" é o produto de sua largura (a) pelo seu comprimento (c):

$A_I = a \times c \Rightarrow A_I = 16,0 \times 96,0$

$A_I = 1\,536\ mm^2$ ou $15,4\ cm^2$

Área total das lâminas

A área total das lâminas será a soma das respectivas áreas:

$A_L = A_E + A_I \Rightarrow A_L = 46,1\ cm^2 + 15,4\ cm^2$

$A_L = 61,5\ cm^2$

Para determinarmos o ***volume do núcleo,*** basta considerarmos a altura do empilhamento e multiplicarmos pela área da lâmina (A_L).

$V_N = A_L \times h \Rightarrow V_N = 61,5\ cm^2 \times 3,2\ cm$

$V_N = 196,8\ cm^3$ ou $196,8 \times 10^{-6}\ m^3$

Agora, determina-se a ***massa do núcleo*** através da fórmula 17.36:

$m_{Fe} = V_N \times d_{Fe} \Rightarrow m_{Fe} = 196,8 \times 10^{-6} \times 7,5 \times 10^3$

$m_{Fe} = 1,5\ kg$

Finalmente, calcula-se a ***perda de potência no núcleo,*** por meio da fórmula 17.37.

$P_{Fe} = m_{Fe} \times p_{Fe} \Rightarrow P_{Fe} = 1,5\ kg \times 2$

$P_{Fe} = 3$ watts

VI

Verificação das dimensões

A figura 33 apresenta um corte dos enrolamentos. Nela aparecem o núcleo, o carretel de fibra onde serão feitos os enrolamentos, e os enrolamentos primário e secundário.

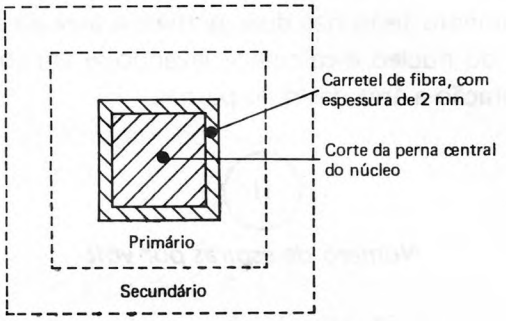


Fig. 33 – Corte do enrolamento, mostrando as posições relativas em relação ao núcleo.

Para o modelo 4 HS–320, o comprimento da janela é a dimensão "d" da tabela I, ou seja 48,0 mm. Considerando-se uma folga de 5 mm de cada lado, sobram 38,0 mm de comprimento como espaço útil para o enrolamento. Veja a representação na figura 34.

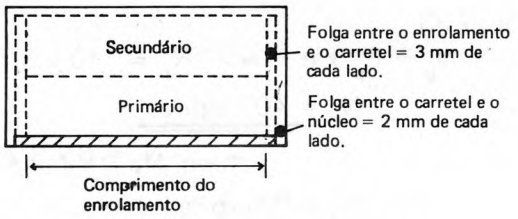


Fig. 34 – Disposição da bobina na janela, mostrando as folgas necessárias.

Consultando-se uma ***tabela de fios,*** iremos encontrar as seguintes características para os fios usados nos enrolamentos: 1°) para o fio n° 8 AWG, a tabela nos informa que ele apresenta um diâmetro de 3,307 mm e cabem 2,752 espiras por centímetro de enrolamento; 2°) para o fio n° 20 AWG, a tabela nos informa que ele apresentará um diâmetro de 0,8484 mm e cabem 10,61 espiras por centímetro de enrolamento.

Desse modo, o ***número de espiras por camada,*** no secundário, será:

$3,8\ cm \times 2,752\ espiras/cm = 10$ espiras por camada

Para o primário teremos:

$3,8\ cm \times 10,61\ espiras/cm = 40$ espiras.

Na etapa III já foi determinado o número de espiras dos enrolamentos. Logo, pode-se calcular o ***número de camadas que cada enrolamento apresentará:***

Direitos reservados

$$\text{Secundário} = \frac{22 \text{ espiras}}{10 \text{ espiras/camada}} = 2{,}2 \text{ camadas}$$

$$\text{Primário} = \frac{407 \text{ espiras}}{40 \text{ espiras/camada}} = 10{,}2 \text{ camadas}$$

Obviamente, ***o número de camadas não pode ser fracionário.*** Daí, tem-se dois caminhos: a) arredonda-se para baixo, isto é, 2 camadas para o secundário e 10 camadas para o primário. Isto pode ser possível de duas maneiras: tomar todo cuidado no enrolamento fazendo com que uma espira fique bem encostada à anterior e diminuindo as folgas previstas nas extremidades dos enrolamentos e do carretel; b) caso a possibilidade anterior não seja possível, tem-se que arredondar para cima, diminuindo o número de espiras por camada.

Neste momento ***é preciso verificar se os enrolamentos calculados cabem na janela do núcleo.*** Para isso é necessário considerar, também, a espessura dos papéis ou filmes plásticos usados para isolar as camadas. A espessura destas isolações dependem muito do diâmetro dos fios empregados: ***fios finos requerem isolações finas e fios grossos requerem isolações maiores.*** Pode-se estabelecer como critério o seguinte: ***a isolação entre as camadas deve ter uma espessura de um décimo do diâmetro do fio.*** Assim sendo, para o primário a espessura da isolação entre as camadas será de 0,08 mm, enquanto que a espessura da isolação para o secundário será de 0,3 mm.

Observe na figura 35 a indicação de todos os fatores que precisam ser considerados para a determinação da espessura total da bobina.

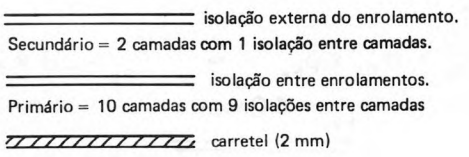


Fig. 35 — Disposição das camadas dos enrolamentos com suas isolações.

Agora, com base na figura 35, vamos calcular a espessura total da bobina.

Carretel. . . . . = 2,0 mm
Enrolamento do primário = 10x0,8484. . . . . .= 8,5 mm
Isolação do primário = 9x0,08. . .= 0,7 mm
Isolação entre primário e secundário. . . . . .= 0,5 mm
Enrolamento do secundário = 2 x 3,307. . . . . .= 6,6 mm
Isolação do secundário = 1x0,3. . .= 0,3 mm
Isolação externa do enrolamento. .= 0,5 mm

Espessura total da bobina. . . . . .= 19,1 mm

Observe que a espessura total do enrolamento deu 19,1 mm, enquanto que a largura da janela é de apenas 16,0 mm. Isto quer dizer que o enrolamento não cabe na janela.

E agora? O que se deve fazer?

Bem, existem duas possibilidades: ***aumentar o núcleo, aumentando também o empilhamento*** (as medidas da janela não mudam), ***ou escolher outra lâmina com janela maior.***

Neste caso, como a diferença é de quase 20%, deve-se escolher outra lâmina com janela maior e aumentar também a seção.

Vamos escolher o modelo seguinte, apresentado na tabela I: 4 HS—350, cuja perna central tem largura de 3,5 cm e uma janela de 17,5 mm por 52,5 mm.

Em seguida, deve-se refazer os cálculos, a partir da primeira etapa.

I

Seção do núcleo

Para a lâmina 4 HS—350, a perna central tem uma largura de 3,5 cm. Considerando-se um empilhamento de 3,8 cm, a área da seção do núcleo será:

$S = 3{,}5 \text{ cm} \times 3{,}8 \text{ cm} \Rightarrow S = 13{,}3 \text{ cm}^2$

II

Número de espiras por volt

O número de espiras por volt é calculado através da fórmula 17.32:

$$n = \frac{37{,}5}{S} \Rightarrow n = \frac{37{,}5}{13{,}3} \Rightarrow n = 2{,}82 \text{ espiras por volt}$$

III

Número de espiras dos enrolamentos

O número de espiras do primário e do secundário é calculado através da fórmula 17.33:

Direitos reservados

$$N_p = E_p \times n \Rightarrow N_p = 110 \times 2{,}82$$

$$N_p = 310 \text{ espiras}$$

$$N_s = E_s \times n \Rightarrow N_s = 6 \times 2{,}82$$

$$N_s = 17 \text{ espiras}$$

IV

Seção dos fios

Como as correntes que passam pelo primário e pelo secundário não mudaram, os fios a serem utilizados são os mesmos da primeira tentativa. Portanto, o secundário será enrolado com o fio nº 8 AWG, enquanto que o primário será enrolado com o fio nº 20 AWG.

V

Perdas no núcleo

Para determinarmos as perdas de potência no núcleo, devemos em primeiro lugar calcular a área de cada lâmina.

Área da lâmina "E"

Para facilitar a determinação da área da lâmina "E", vamos desmembrá-la em 4 pedaços, conforme está esquematizado na figura 36.

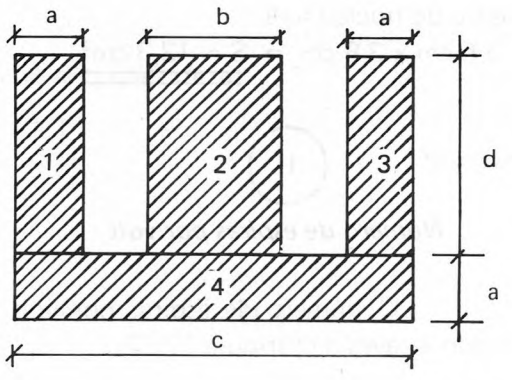


Fig. 36 – Lâmina "E" desmembrada em 4 pedaços.

A área do pedaço 1 é:

$a \times d = 17{,}5 \times 52{,}5 = 919 \text{ mm}^2$

A área do pedaço 2 é:

$b \times d = 35{,}0 \times 52{,}5 = 1\,838 \text{ mm}^2$

A área do pedaço 3 é:

$a \times d = 17{,}5 \times 52{,}5 = 919 \text{ mm}^2$

A área do pedaço 4 é:

$a \times c = 17{,}5 \times 105 = 1\,838 \text{ mm}^2$

Somando-se a área dos 4 pedaços, obtém-se a área da lâmina "E":

$$A_E = 919 + 1\,838 + 919 + 1\,838$$

$$A_E = 5\,514 \text{ mm}^2 \text{ ou } 55{,}14 \text{ cm}^2$$

Área da lâmina "I"

A área da lâmina "I" é calculada multiplicando-se a sua largura (a) pelo seu comprimento (c):

$$A_I = a \times c \Rightarrow A_I = 17{,}5 \times 105$$

$$A_I = 1\,838 \text{ mm}^2 \text{ ou } 18{,}38 \text{ cm}^2$$

Área total das lâminas

Para determinar a área total das lâminas basta somar a área da lâmina "E" com a área da lâmina "I":

$$A_L = A_E + A_I \Rightarrow A_L = 55{,}14 \text{ cm}^2 + 18{,}38 \text{ cm}^2$$

$$A_L = 73{,}52 \text{ cm}^2$$

Com um empilhamento de 3,8 cm, o ***volume do núcleo*** será:

$$V_N = A_L \times h \Rightarrow V_N = 73{,}52 \times 3{,}8$$

$$V_N = 279{,}4 \text{ cm}^3 \text{ ou } 279{,}4 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Agora, determina-se a massa de ferro do núcleo, através da fórmula 17.36:

$$m_{Fe} = V_N \times d_{Fe}$$

$$m_{Fe} = 279{,}4 \times 10^{-6} \times 7{,}5 \times 10^3$$

$$m_{Fe} = 2{,}1 \text{ kg}$$

Finalmente, determina-se a perda de potência no núcleo, por meio da fórmula 17.37:

$$P_{Fe} = m_{Fe} \times p_{Fe} \Rightarrow P_{Fe} = 2{,}1 \times 2$$

$$P_{Fe} = 4{,}2 \text{ watts}$$

VI

Verificação das dimensões

Cada janela do núcleo apresenta um comprimento de 52,5 mm e uma largura de 17,5 mm . Considerando-se uma folga de 5 mm de cada lado, sobram 42,5 mm ou 4,25 cm de espaço útil para o enrolamento. Veja na figura 37 as dimensões da janela e a indicação do espaço útil para o enrolamento.

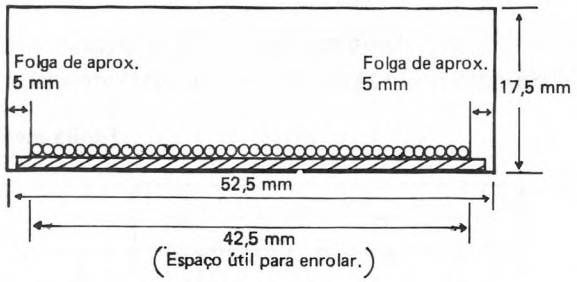


Fig. 37 – Esquema indicando as dimensões da janela e o espaço útil para os enrolamentos.

Consultando-se uma tabela de fios, verificamos o seguinte: 1°) o fio n° 8 AWG tem um diâmetro de 3,307 mm e cabem 2,752 espiras por centímetro de enrolamento; 2°) o fio n° 20 AWG tem um diâmetro de 0,8484 mm e cabem 10,61 espiras por centímetro de enrolamento.

Assim, ***o número de espiras por camada*** no secundário será:

4,25 cm x 2,752 espiras/cm = 11,7 espiras/camada.

Arredondando, podemos dizer que o secundário apresentará 11 espiras por camada.

Com relação ao primário, o número de espiras por camada será:

4,25 cm x 10,61 espiras/cm = 45,1 espiras/camada

Fazendo-se, também, o arredondamento, podemos dizer que o secundário apresentará 45 espiras por camada.

Como já foi determinado na etapa III o número de espiras dos enrolamentos, pode-se determinar o ***número de camadas que cada enrolamento*** apresentará.

$$\text{Secundário} = \frac{17 \text{ espiras}}{11 \text{ espiras/camada}} = 1{,}5 \text{ camada}$$

⇒ 2 camadas

$$\text{Primário} = \frac{310 \text{ espiras}}{45 \text{ espiras/camada}} = 6{,}9 \text{ camadas}$$

⇒ 7 camadas

Portanto, a ***espessura total do enrolamento*** será:

Carretel	= 2,0 mm
Primário = 7 x 0,8484	= 5,9 mm
Isolação do primário ≐ 6 x 0,08	= 0,5 mm
Isolação entre enrolamentos	= 0,5 mm
Secundário = 2 x 3,307	= 6,6 mm
Isolação do secundário = 1 x 0,3	= 0,3 mm
Isolação externa	= 0,5 mm
Total	= 16,3 mm

Observe que a espessura total do enrolamento deu 16,3 mm, e que a janela tem 17,5 mm. Portanto, o enrolamento cabe na janela do núcleo.

Entretanto, observa-se que o secundário tem apenas 1,5 camada de fio bastante grosso. Para que a isolação externa não fique torta, é preciso distribuir as espiras ao longo da camada.

Uma outra solução mais elegante é a seguinte: toma-se o fio cuja área seja metade da do fio n° 8 AWG, isto é, o fio n° 11 AWG. Este fio, com esmalte simples, tem o diâmetro de 2,354 mm e cabem 3,822 espiras por centímetro de enrolamento, de acordo com a tabela de fios. Como o espaço útil da janela é de 4,25 cm, o ***número de espiras por camada*** que este fio ocupará será:

4,25 cm x 3,822 = 16,2 espiras/camada

⇒ 17 espiras/camada.

Ora, o secundário precisa de 17 espiras, ou seja, exatamente uma camada! ***Só que se deve enrolar dois secundários, cada um com 17 espiras, e ligá-los em paralelo. Assim, se compensa a seção menor do fio.***

Porém, agora haverá uma ***diminuição da espessura total do enrolamento,*** como você pode observar na soma a seguir:

Carretel	= 2 mm
Primário = 7 x 0,8484	= 5,9 mm
Isolação entre camadas = 6 x 0,08	= 0,5 mm
Isolação entre enrolamentos	= 0,5 mm
Secundário = 2 x 2,354	= 4,7 mm
Isolação entre camadas = 1 x 0,2	= 0,2 mm
Isolação externa	= 0,5 mm
Total	= 14,3 mm

Observe que agora a folga aumentou para 3,2 mm, o que é mais do que suficiente.

VII

Espira média de cada enrolamento

O núcleo tem uma seção de 35 mm por 38 mm. O carretel onde serão enrolados os fios do primário e do secundário, tem uma espessura de 2 mm. Portanto, as ***dimensões internas do primário*** serão:

largura: 35 + (2 x 2) = 39 mm

altura: 38 + (2 x 2) = 42 mm

Como foi visto na etapa anterior, o primário tem 7 camadas com 6 isolações entre as camadas, de modo que as ***dimensões externas do primário*** serão:

largura: 39 + (7 x 0,8484) + (6 x 0,08) =
= 39 + 5,9 + 0,5 = 45,4 mm

altura: 42 + (7 x 0,8484) + (6 x 0,08) =
= 42 + 5,9 + 0,5 = 48,4 mm

Direitos reservados

Veja na figura 38 a seção do primário com suas medidas físicas.

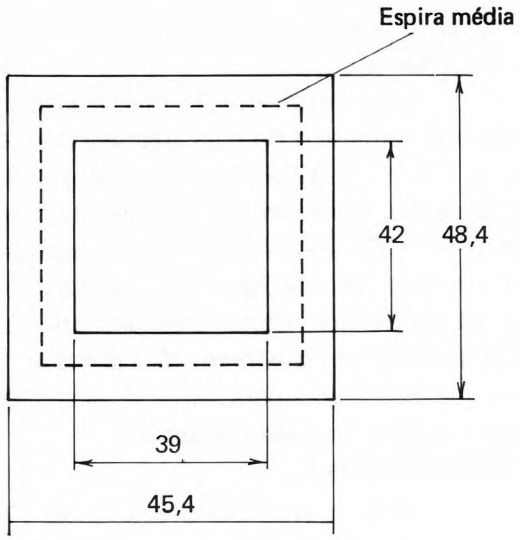


Fig. 38 – Dimensões do primário.

Observando-se a figura 38, podemos determinar o comprimento da espira mais interna (c_{in}) e o comprimento da espira mais externa (c_{ex}) do primário.

$c_{in} = 2 \times (39 + 42) = 162$ mm

$c_{ex} = 2 \times (45,4 + 48,4) = 187,6$ mm

Conhecendo-se o valor do comprimento da espira mais interna e da espira mais externa, pode-se determinar o ***comprimento da espira média do primário,*** através da fórmula 17.38:

$$c_m = \frac{c_{in} + c_{ex}}{2} \Rightarrow c_m = \frac{163 + 187,6}{2}$$

$$c_m = 174,8 \text{ mm}$$

Agora, vamos determinar as dimensões do secundário.

Entre o primário e o secundário existe uma isolação de 0,5 mm. Logo, as ***dimensões internas do secundário*** serão:

largura: $45,4 + (2 \times 0,5) = 46,4$ mm

altura: $48,4 + (2 \times 0,5) = 49,4$ mm

O secundário tem 2 camadas com fio de 2,354 mm de diâmetro, sendo que a isolação entre as camadas tem uma espessura de 0,2 mm. Portanto, as ***dimensões externas do secundário*** serão:

largura: $46,4 + (2 \times 2,354) + (1 \times 0,2) =$
$= 46,4 + 4,7 + 0,2 = 51,3$ mm

altura: $49,4 + (2 \times 2,354) + (1 \times 0,2) =$
$= 49,4 + 4,7 + 0,2 = 54,3$ mm

Veja na figura 39 a seção do secundário com as indicações de suas dimensões.

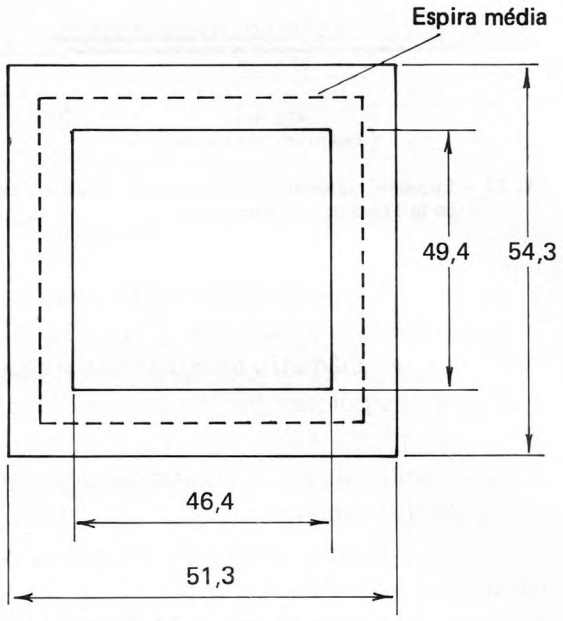


Fig. 39 – Dimensões do secundário.

Observando-se a figura 39, podemos determinar o comprimento da espira mais interna (c_{in}) e o comprimento da espira mais externa (c_{ex}) do secundário.

$c_{in} = 2 \times (46,4 + 49,4) = 191,6$ mm

$c_{ex} = 2 \times (51,3 + 54,3) = 211,2$ mm

Conhecendo-se o comprimento da espira mais interna e o comprimento da espira mais externa do secundário, pode-se determinar o ***comprimento médio das espiras do secundário:***

$$c_m = \frac{c_{in} + c_{ex}}{2} \Rightarrow c_m = \frac{191,6 + 211,2}{2}$$

$$c_m = 201,4 \text{ mm}$$

VIII

Resistência dos enrolamentos

Resistência do primário

Em primeiro lugar, vamos determinar o comprimento total do fio que constitui o enrolamento primário, através da fórmula 17.39:

$c_T = c_m \times N \Rightarrow c_T = 174,8 \times 310$

$c_T = 54,2 \times 10^3$ mm ou 54,2 m

Como no primário foi empregado o fio nº 20 AWG, consultando-se uma tabela de fios verifica-se que este fio tem uma resis-

Direitos reservados

tência por unidade de comprimento (R_u) igual a 33,31Ω/km ou 33,31 x 10^{-3}Ω/m. Então, aplicando-se a fórmula 17.40 determina-se a resistência do primário.

$R_p = c_T \times R_u$

$R_s = 54{,}2\ m \times 33{,}31 \times 10^{-3}\ \Omega/m$ $\quad R_p = 1{,}81\ \Omega$

Resistência do secundário

Através da fórmula 17.39, vamos determinar o comprimento total do fio que constitui o secundário:

$c_T = c_m \times N \Rightarrow c_T = 201{,}4 \times 17$

$c_T = 3{,}4 \times 10^3$ mm ou 3,4 m

Como no secundário foi empregado o fio nº 11 AWG, consultando-se uma tabela de fios verifica-se que este fio tem uma resistência por unidade de comprimento (R_u) igual a 4,132 Ω/km ou 4,132 x10^{-3} Ω/m. Então, aplicando-se a fórmula 17.40, determina-se o valor da resistência do secundário:

$R_s = c_T \times R_u \Rightarrow R_s = 3{,}4\ m \times 4{,}132 \times 10^{-3}\ \Omega/m$

$R_s = 0{,}014\ \Omega$

Mas, como no secundário existem dois enrolamentos em paralelo, a resistência total do secundário é a metade deste valor calculado, ou seja, 0,007 Ω.

IX

Perdas no cobre

As perdas de potência que ocorrem nos enrolamentos primário e secundário, devem ser determinadas por meio da fórmula 17.41.

Para o primário tem-se:

$P_{Cu} = R \times I^2 \Rightarrow P_{Cu} = 1{,}81 \times (0{,}91)^2$

$P_{Cu} = 1{,}5$ watt

Para o secundário, as perdas no cobre serão:

$P_{Cu} = R \times I^2 \Rightarrow P_{Cu} = 0{,}007 \times (16{,}7)^2$

$P_{Cu} = 2{,}0$ watts

Conhecendo-se as perdas no primário e no secundário, determina-se a perda total no cobre somando-se as respectivas perdas em cada enrolamento. Portanto, a ***perda total*** será: 1,5 + 2,0 = ***3,5 watts.***

No item V foi visto que as perdas no ferro eram de 4,2 watts, o que representa uma diferença de 17% em relação às perdas no cobre. Muito embora as duas perdas não sejam exatamente iguais, pode-se considerar o resultado razoável, pois a diferença é menor que 20%.

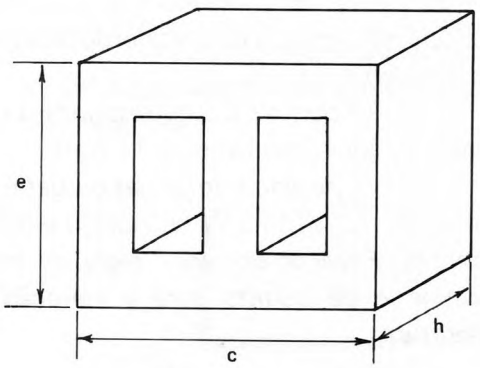
Se quiser ser "purista" e melhorar o equilíbrio das perdas, pode aumentar um pouco o número de espiras dos enrolamentos (mantendo a proporção!). Veja que no número de camadas houve uma aproximação para mais, de modo que deve caber mais algumas espiras, sem aumentar o número de camadas (pois se aumentar o número de camadas, pode não caber na janela). O aumento do número de espiras aumentará a resistência e conseqüentemente aumentará as perdas no cobre. Ao mesmo tempo, o aumento do número de espiras diminui a corrente de magnetização e reduz as perdas no ferro.

X

Temperatura de funcionamento

Finalmente, é preciso verificar a temperatura de trabalho do transformador.

Para isso, determina-se a área das faces do núcleo, em cm^2, desprezando-se as janelas e os enrolamentos. No nosso caso, o núcleo tem as dimensões apresentadas na figura 40.



Lâminas 4HS–350:
c = 105 mm = 10,5 cm
e = 87,5 mm = 8,75 cm
h = 3,8 cm

Figura 40 – Dimensões do núcleo.

Como você pode verificar pela figura 40, o núcleo tem duas faces com as dimensões ***c*** x ***e;*** duas faces com as dimensões ***e*** x ***h;*** e duas com as dimensões ***c*** x ***h.*** Portanto, a área total das faces do núcleo será:

Direitos reservados

$(2 \times c \times e) + (2 \times e \times h) + (2 \times c \times h) =$
$= (2 \times 10{,}5 \times 8{,}75) + (2 \times 8{,}75 \times 3{,}8) +$
$+ (2 \times 10{,}5 \times 3{,}8)$
$= (184) + (67) + (80) =$
$= 331\ cm^2$

Este valor da área total das faces do núcleo servirá para determinar se a elevação da temperatura estará dentro do limite tolerado. Para isto, recorre-se ao gráfico apresentado na figura 30.

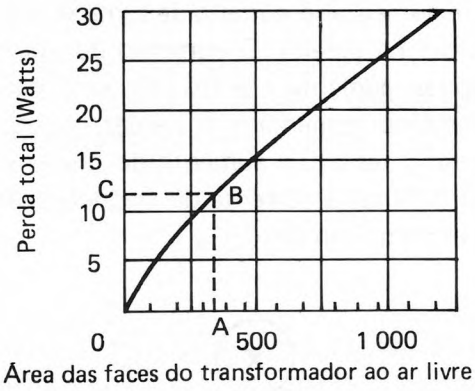


Fig. 41 — Perda total de potência em função da área das faces.

Marca-se no eixo das abscissas (eixo horizontal), o valor da área total: 331 cm^2. Neste caso, corresponde ao ponto "A" do gráfico da figura 41. A partir deste ponto "A", levanta-se uma linha vertical até encontrar a curva. O cruzamento da curva com a linha vertical corresponde ao ponto "B". A partir do ponto "B", traça-se uma linha horizontal até encontrar o eixo das ordenadas, onde se marca o ponto "C".

O ponto "C" corresponde a uma potência de aproximadamente 11 watts.

A ***potência total das perdas*** é, no entanto, de 7,7 W (4,3 W no núcleo e 3,5 W no cobre). ***Fazendo-se uma "regra de três", determina-se de quanto será a elevação na temperatura:***

11 watts ——— 40°C
7,7 watts ——— X

$$X = \frac{7{,}7 \times 40}{11} \Rightarrow x = 28°C$$

Como se observa, a elevação da temperatura estará abaixo do limite máximo (40°C). Portanto, pode-se considerar o projeto satisfatório, e realizar a construção do transformador.

Após a feitura do transformador deve-se medir as resistências de cada enrolamento e a tensão que aparece em cada enrolamento quando se aplica a tensão nominal num deles.

O ensaio da tensão é feito, geralmente, aplicando-se a tensão nominal da rede ao enrolamento apropriado e aproveitando-se para medir também a corrente de magnetização. Anota-se igualmente a temperatura ambiente do local de trabalho.

Se os valores encontrados nas resistências e tensões forem satisfatórios, faz-se o ensaio com carga: o transformador deve fornecer a máxima potência prevista.

Após duas horas (no mínimo) de funcionamento, desliga-se o transformador e mede-se em seguida (imediatamente!) a resistência de um dos enrolamentos. No caso geral, o enrolamento escolhido é o de maior resistência. Mas há quem escolha o enrolamento mais interno para que a variação de temperatura entre o fim do ensaio e o instante da medição da resistência seja a menor possível. Lembre-se que a temperatura começa a abaixar imediatamente após o desligamento do circuito.

Vamos supor que no nosso exemplo foi medida a resistência do primário e foram encontrados os seguintes valores:

início { temperatura ambiente = 18°C
resistência = 1,805 Ω

após 2 horas: { temperatura ambiente = 24°C
resistência = 2,022 Ω

De acordo com a fórmula 17.43 tem-se:

$$T_2 - T_1 = \frac{R_2 - R_1}{\alpha\ R_1}$$

$$T_2 - T_1 = \frac{2{,}022 - 1{,}805}{4 \times 10^{-3} \times 1{,}805}$$

$$T_2 - T_1 = 30°C$$

Mas veja que durante o ensaio, a temperatura ambiente sofreu uma elevação de 6°C. Então a elevação da temperatura devida às perdas foi: 30°C − 6°C = 24°C.

Antes de terminar, deve-se lembrar que a variação da temperatura ambiente pode ser negativa. Suponha que a resistência "a frio" tenha sido medida num dia quente, com temperatura de 30°C, e que o ensaio de carga tenha sido feito noutro dia, com temperatura ambiente de 16°C. Neste caso, evidentemente, a variação da temperatura ambiente deve ser acrescentada à variação medida.

Direitos reservados

Finalmente, é preciso deixar bem claro que será praticamente impossível concluir o projeto de um transformador logo na primeira tentativa.

Você viu que para a lâmina 4HS—320 os enrolamentos não caberiam na janela do núcleo. Por isso, optamos por outra lâmina (4 HS—350) com janela maior, e não houve mais este tipo de problema.

Outras vezes, pode acontecer o contrário, ou seja, ficar folgado demais. Quando isto acontecer, deve-se diminuir o núcleo e, conseqüentemente, aumentar a bobina.

Para estes tipos de ajustes, tenha em mente a seguinte regra geral: ***"para aumentar o cobre (enrolamento) deve-se diminuir o ferro (núcleo), e para diminuir o cobre deve-se aumentar o ferro".***

7- Projeto de indutância de filtro

O projeto de indutâncias de filtro pode ser feito baseado em fórmulas aproximadas, tal como foi feito com os transformadores.

Devido ao fato de trabalhar mais com corrente contínua do que com corrente alternada (a porcentagem da corrente contínua é maior do que a corrente de ondulação), ***os indutores de filtro devem dispor de entreferros para evitar saturação.*** Outro fato importante é que a relutância do entreferro é, em geral, maior que a relutância do núcleo.

Para cálculos práticos existem dois gráficos: um para determinar o tamanho do núcleo (seção) e outro para determinar o número de espiras. Veja as figuras 42 e 43.

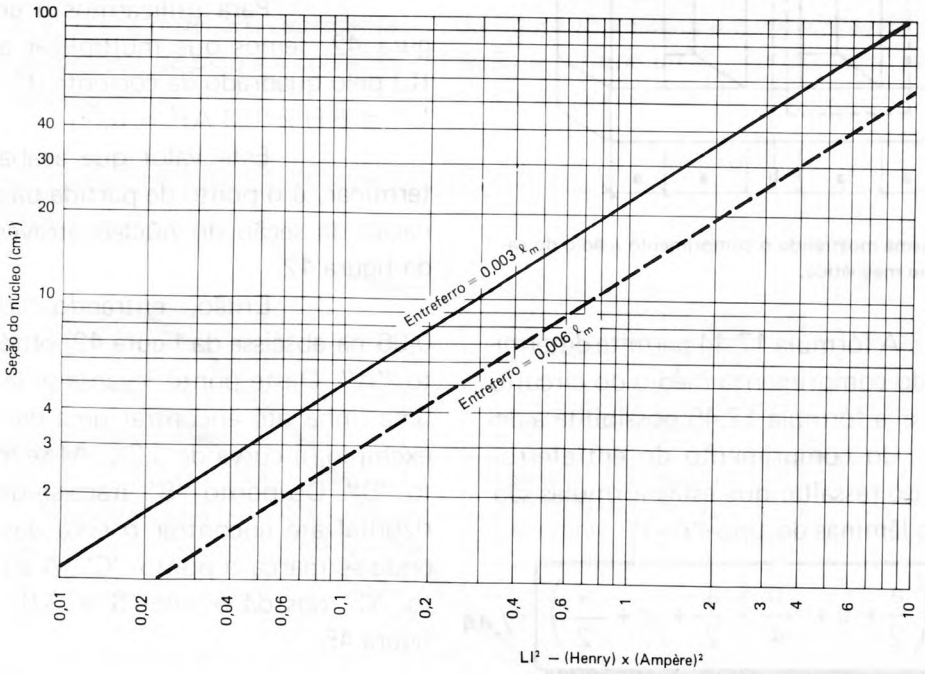


Fig. 42 — Gráfico para a determinação da seção do núcleo.

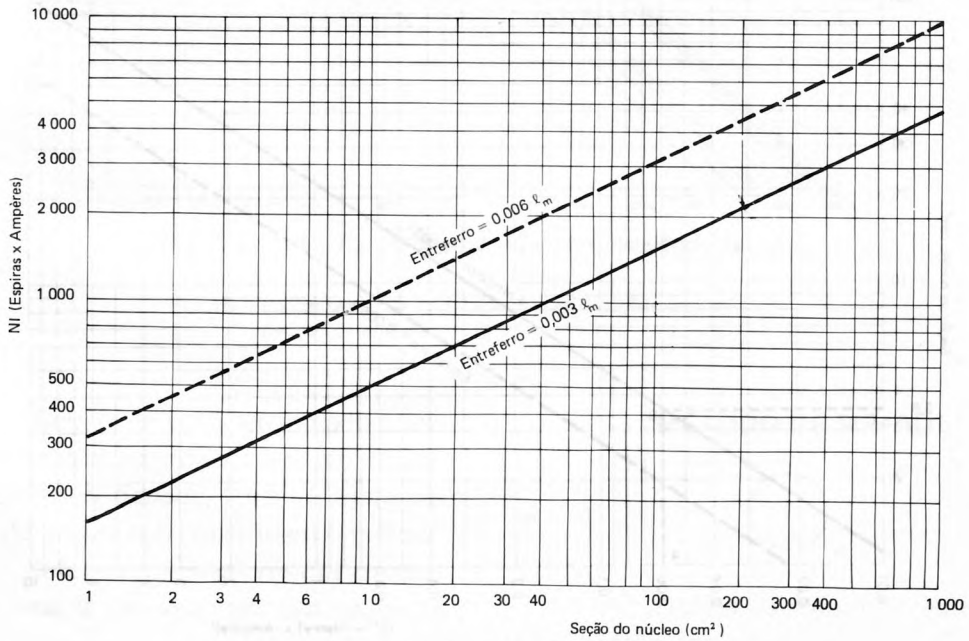


Fig. 43 — Gráfico para a determinação do número de espiras.

O gráfico da figura 42 serve para determinar a seção do núcleo e o gráfico da figura 43 serve para determinar o número de espiras. Ambos os gráficos apresentam duas curvas: uma para um entreferro de 0,3% do comprimento médio do circuito magnético e outro para 0,6%. O entreferro de 0,3% proporciona um indutor maior com mais ferro e menos cobre do que o de 0,6%. Então, eles diferem no tamanho e no custo, mas os desempenhos são equivalentes.

A figura 44 apresenta a indicação do comprimento médio do caminho magnético.

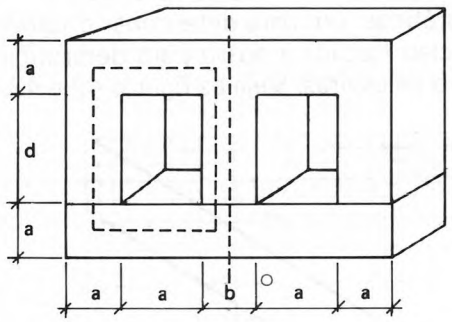


Fig. 44 — Esquema mostrando o comprimento médio do caminho magnético.

A fórmula 17.44 permite determinar o valor do comprimento médio do circuito magnético, e a fórmula 17.45 possibilita a determinação do comprimento do entreferro. Mas, é preciso ressaltar que estas fórmulas são válidas para lâminas do tipo "E—I".

$$\ell_m = 2 \times \left(\frac{a}{2} + a + \frac{b}{4} + \frac{a}{2} + d + \frac{a}{2} \right) \quad (17.44)$$

ℓ_m = comprimento médio do circuito magnético, em mm.

a, b, d = dimensões das lâminas, dadas pela tabela I.

$$\ell_{ar} = k \times \ell_m \quad (17.45)$$

ℓ_{ar} = comprimento do entreferro, em mm

k = 0,3% ou 0,6%

Para ilustrar melhor o assunto, vamos partir para um exemplo numérico.

Exemplo

Projetar um indutor para um filtro que apresenta uma indutância de 6H e que possa operar com uma corrente contínua de 100 mA.

Solução

Para utilizarmos o gráfico da figura 42, temos que multiplicar a indutância (L) pelo quadrado da corrente (I^2);

$LI^2 = 6\ H \times (0{,}1\ A)^2 = 0{,}06$

Este valor que acabamos de determinar, é o ponto de partida para a determinação da seção do núcleo através do gráfico da figura 42.

Então, entrando com o valor 0,06 na abscissa da figura 42, obtém-se o ponto "A". Deste ponto levanta-se verticalmente uma linha até encontrar uma das curvas, por exemplo, a curva de 0,3%. Aí se marca o ponto "B". Do ponto "B" traça-se uma linha horizontal até encontrar o eixo das ordenadas, onde se marca o ponto "C". A altura do ponto "C" nos dá o valor S = 3,6 cm². Veja a figura 45.

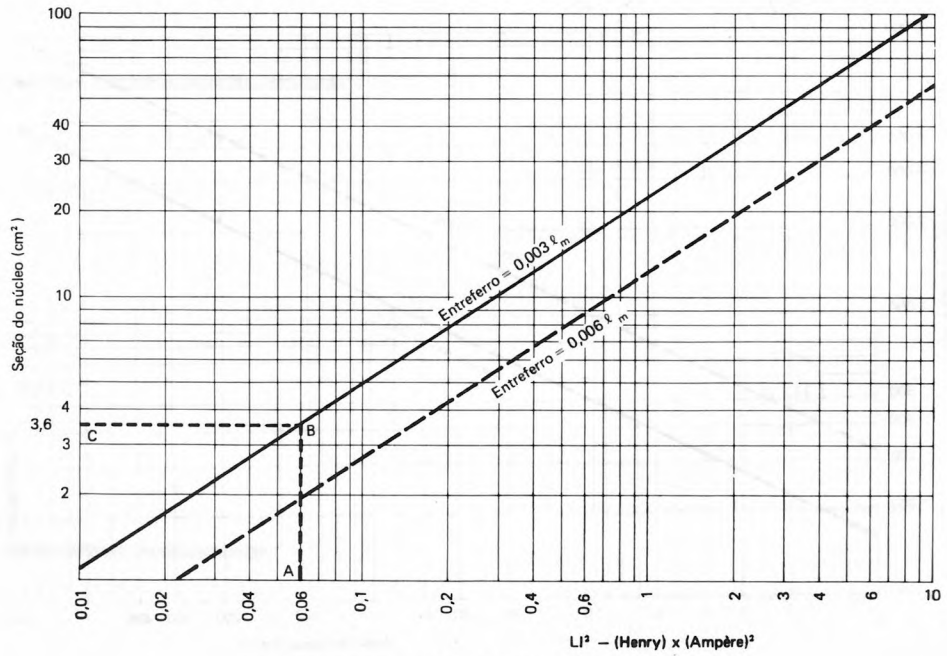


Fig. 45 — Determinação da seção do núcleo.

Consultando-se a tabela I, verifica-se que um empilhamento de 20 milímetros da lâmina S–200 seria adequado. Então, S = 20 x 20 = 400 mm² ou 4 cm².

Entrando-se com este valor (4 cm²) no eixo horizontal do gráfico da figura 43, tem-se o ponto "D". Deste ponto traça-se uma linha vertical até encontrar a curva de 0,3%, onde se marca o ponto "E". Daí, traça-se uma linha horizontal até encontrar a ordenada, onde se marca o ponto "F". Veja a figura 46.

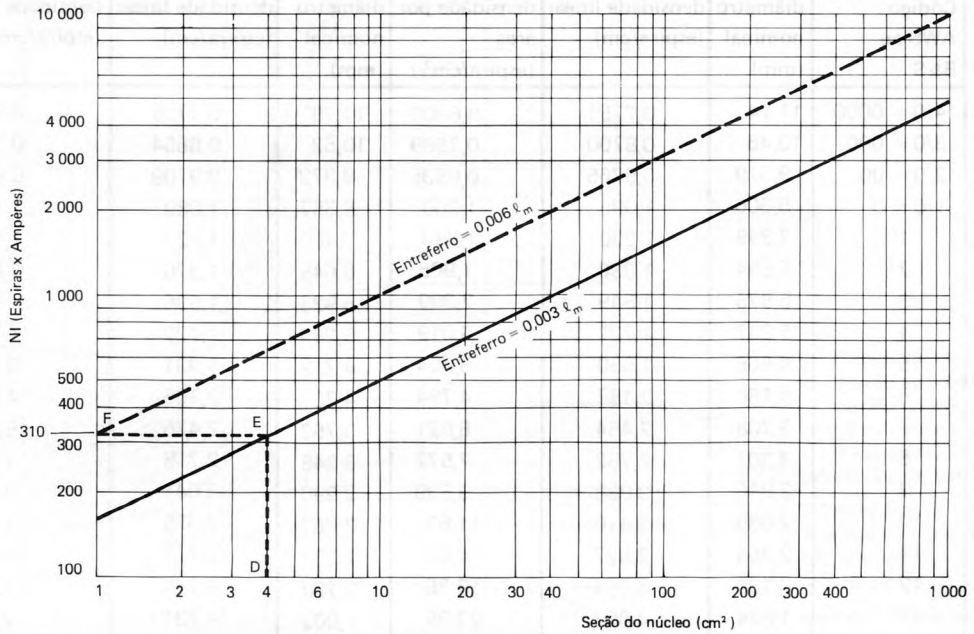


Fig. 46 – Determinação do número de espiras.

A altura do ponto "F" nos dá:

NI = 310.

Como I = 0,1 A, de acordo com os dados do exemplo, resulta imediatamente:

$$N = \frac{310}{0,1} \quad \Rightarrow \quad N = 3\,100 \text{ espiras.}$$

Agora, vamos calcular o comprimento médio do caminho magnético. Para isto, devemos considerar as dimensões da lâmina S–200, cujos valores estão especificados na tabela I.

Substituindo-se na fórmula 17.44 os valores das dimensões da lâmina, obtém-se:

$$\ell_m = 2 \times \left(\frac{a}{2} + a + \frac{b}{4} + \frac{a}{2} + d + \frac{a}{2} \right)$$

$$\ell_m = 2 \times \left(\frac{10}{2} + 10 + \frac{20}{4} + \frac{10}{2} + 30 + \frac{10}{2} \right)$$

$$\ell_m = 2 \times (5 + 10 + 5 + 5 + 30 + 5)$$

$$\ell_m = 2 \times 60 \Rightarrow \underline{\underline{\ell_m = 120 \text{ mm}}}$$

Conhecendo-se o valor do comprimento médio do caminho magnético, pode-se determinar o comprimento do entreferro, através da fórmula 17.45:

$$\ell_{ar} = k \times \ell_m \quad \Rightarrow \quad \ell_{ar} = \frac{0,3}{100} \times 120$$

$$\underline{\underline{\ell_{ar} = 0,36 \text{ mm}}}$$

O entreferro é constituído normalmente de um material não magnético (papelão ou placa fenólica), com espessura igual à metade do comprimento do entreferro (ℓ_m). Então, neste caso, a espessura do material não magnético que ocupará o entreferro será de 0,18 mm.

Finalmente, resta verificar se o enrolamento cabe na janela do núcleo. Isto pode ser feito seguindo os passos IV, V e VI do projeto de pequenos transformadores.

Direitos reservados

8- Tabelas de fios

CARACTERÍSTICAS DE ENROLAMENTOS DOS FIOS DE COBRE ESMALTADOS

	Esmaltado simples			Esmaltado duplo ou reforçado		
Código AWS ou B&S	diâmetro nominal (mm)	densidade linear (espira/cm)	densidade por área (espira/cm^2)	diâmetro nominal (mm)	densidade linear (espira/cm)	densidade por área (espira/cm^2)
4/0 = 0000	11,74	0,7751	0,6008	11,79	0,7715	0,5951
3/0 = 000	10,46	0,8700	0,7569	10,52	0,8654	0,7489
2/0 = 00	9,319	0,9765	0,9535	9,373	0,9709	0,9427
1/0 = 0	8,306	1,096	1,200	8,357	1,089	1,186
1	7,399	1,230	1,513	7,450	1,222	1,492
2	6,594	1,380	1,905	6,645	1,370	1,876
3	5,875	1,549	2,399	5,923	1,536	2,360
4	5,237	1,737	3,019	5,283	1,722	2,967
5	4,666	1,950	3,804	4,712	1,931	3,730
6	4,160	2,187	4,784	4,201	2,166	4,692
7	3,708	2,454	6,021	3,752	2,426	5,884
8	3,307	2,752	7,572	3,348	2,718	7,389
9	2,946	3,088	9,539	2,990	3,044	9,265
10	2,639	3,410	11,63	2,667	3,375	11,39
11	2,354	3,822	14,61	2,382	3,777	14,27
12	2,100	4,284	18,36	2,128	4,228	17,88
13	1,874	4,801	23,05	1,902	4,731	22,38
14	1,671	5,385	29,00	1,712	5,257	27,64
15	1,491	6,036	36,44	1,529	5,886	34,64
16	1,331	6,762	45,72	1,366	6,586	43,38
17	1,189	7,571	57,32	1,224	7,351	54,04
18	1,062	8,477	71,86	1,095	8,221	67,59
19	0,9474	9,499	90,24	0,9804	9,180	84,26
20	0,8484	10,61	112,5	0,8788	10,24	104,9
21	0,7569	11,89	141,4	0,7849	11,47	131,5
22	0,6756	13,32	177,4	0,7010	12,84	164,8
23	0,6045	14,89	221,6	0,6299	14,29	204,1
24	0,5410	16,64	276,7	0,5639	15,96	254,7
25	0,4826	18,65	347,8	0,5055	17,80	317,0
26	0,4318	20,61	424,8	0,4521	19,68	387,5
27	0,3861	23,05	531,4	0,4064	21,90	479,6
28	0,3454	25,76	663,8	0,3658	24,33	592,1
29	0,3099	28,72	824,9	0,3302	26,95	726,5
30	0,2769	32,15	1 033	0,2946	30,21	912,4
31	0,2464	35,72	1 276	0,2667	33,00	1 089
32	0,2235	39,37	1 550	0,2413	36,47	1 330
33	0,1981	44,42	1 973	0,2159	40,76	1 661
34	0,1778	49,49	2 450	0,1905	46,19	2 134
35	0,1575	55,88	3 122	0,1702	51,71	2 674
36	0,1422	61,16	3 741	0,1524	57,09	3 259
37	0,1270	68,50	4 693	0,1397	62,28	3 878
38	0,1143	76,12	5 794	0,1245	69,90	4 886
39	0,0991	86,82	7 537	0,1092	78,74	6 200
40	0,0889	96,74	9 358	0,0965	89,10	7 939
41	0,0787	107,9	11 650	0,0864	98,42	9 688
42	0,0660	128,7	16 570	0,0762	111,5	12 440
43	0,0584	145,5	21 170	0,0686	123,9	15 360
44	0,0508	167,3	28 000	0,0635	133,8	17 920
45	0,0457	183,7	33 750	0,0559	150,3	22 600
46	0,0432	194,5	37 840	0,0508	165,3	27 340
47	0,0381	217,8	47 460	0,0457	181,5	32 960
48	0,0330	251,4	63 180	0,0406	204,2	41 710
49	0,0305	272,3	74 150	0,0381	217,8	47 460
50	0,0279	297,1	88 250	0,0356	233,4	54 480

Direitos reservados

CARACTERÍSTICAS DOS FIOS DE COBRE NÚS

Código AWG ou B&S	diâmetro (mm)	Seção nominal (mm^2)	Massa por unidade de comprimento (kg/km)	Resistência por unidade de comprimento (Ohms/km)	Corrente de operação (em A)	Corrente de fusão (em A)
4/0 = 0000	11,68	107,2	953,1	0,1608	214,4	3190
3/0 = 000	10,40	85,02	755,9	0,2028	170,1	2680
2/0 = 00	9,266	67.43	599,4	0,2557	134,9	2260
1/0 = 0	8,251	53,47	475,4	0,3224	107,0	1900
1	7,348	42,41	377,0	0,4065	84,82	1590
2	6,543	33,63	299,0	0,5126	67,27	1340
3	5,827	26,67	237,1	0,6464	53,34	1120
4	5,189	21,15	188,0	0,8151	42,30	946
5	4,621	16,77	149,1	1,028	33,55	794
6	4,115	13,30	118,2	1,296	26,60	668
7	3,665	10,55	93,78	1,634	21,10	561
8	3,264	8,365	74,37	2,061	16,73	472
9	2,906	6,634	58,98	2,599	13,27	396
10	2,588	5,261	46,77	3,277	10,52	333
11	2,305	4,172	37,09	4,132	8,345	280
12	2,052	3,309	29,42	5,210	6,618	235
13	1,828	2,624	23,33	6,570	5,248	198
14	1,628	2,081	18,50	8,285	4,162	166
15	1,450	1,650	14,67	10,45	3,301	140
16	1,291	1,309	11,63	13,17	2,618	117
17	1,150	1,038	9,226	16,61	2,076	98,6
18	1,024	0,8230	7,317	20,95	1,646	82,4
19	0,9116	0,6527	5,802	26,41	1,306	69,7
20	0,8118	0,5176	4,602	33,31	1,035	58,6
21	0,7230	0,4105	3,649	42,00	0,8210	49,3
22	0,6438	0,3255	2,894	52,96	0,6511	41,2
23	0,5733	0,2582	2,295	66,78	0,5164	34,8
24	0,5106	0,2047	1,820	84,21	0,4095	29,2
25	0,4547	0,1624	1,443	106,2	0,3247	24,5
26	0,4049	0,1288	1,145	133,9	0,2575	20,5
27	0,3606	0,1021	0,9077	168,8	0,2042	17,4
28	0,3211	0,08097	0,7198	212,9	0,1620	14,5
29	0,2859	0,06421	0,5709	268,5	0,1284	12,3
30	0,2546	0,05092	0,4527	338,5	0,1018	10,2
31	0,2268	0,04038	0,3590	426,9	0,08078	8,60
32	0,2019	0,03203	0,2847	538,3	0,06406	7,32
33	0,1798	0,02540	0,2258	678,8	0,05080	6,10
34	0,1601	0,02014	0,1791	855,9	0,04029	5,12
35	0,1426	0,01597	0,1420	1079	0,03195	4,28
36	0,1270	0,01267	0,1126	1361	0,02534	3,62
37	0,1131	0,01004	0,08930	1716	0,02009	3,08
38	0,1007	0,007966	0,07082	2164	0,01593	2,61
39	0,08969	0,006318	0,05616	2729	0,01264	2,12
40	0,07987	0,005010	0,04454	3441	0,01002	1,77
41	0,07112	0,003973	0,03532	4339	0,007947	1,52
42	0,06334	0,003151	0,02801	5471	0,006302	1,28
43	0,05640	0,002499	0,02221	6899	0,004998	1,06
44	0,05023	0,001982	0,01762	8700	0,003964	0,916
45	0,04473	0,001571	0,01397	10970	0,003143	0,782
46	0,03984	0,001246	0,01108	13830	0,002493	0,654
47	0,03547	0,0009883	0,008786	17440	0,001977	0,537
48	0,03159	0,0007838	0,006968	22000	0,001578	0,426
49	0,02813	0,0006216	0,005526	27740	0,001243	0,373
50	0,02505	0,0004929	0,004382	34970	0,0009859	0,324

Direitos reservados

Exame

PROJETO DE FONTES DE ALIMENTAÇÃO
REFERÊNCIA 032

Observações Para o Aluno

- Antes de responder as questões você deverá ter feito um estudo minucioso e completo desta lição.
- Agora, leia cada questão até compreender bem o que se pede.
- Cada questão apresenta várias soluções. Apenas uma solução é correta.
- Em cada questão indique a solução que você julgar correta e, a seguir, transcreva, com atenção, as suas respostas para a Folha de Respostas, anexa.

1. As fontes de alimentação que transformam a tensão alternada em tensão contínua, geralmente apresentam os componentes ligados na seguinte disposição:
   a) transformador, circuitos de retificação e filtro.
   b) circuitos de retificação, transformador e filtro.
   c) filtro, transformador e circuitos de retificação.
   d) transformador, filtros e circuitos de retificação.

2. Com relação aos dois tipos de transformador é correto afirmar:
   a) no transformador elevador, a tensão de entrada é maior do que a tensão de saída.
   b) no transformador abaixador, a tensão de saída é maior que a tensão de entrada.
   c) no transformador elevador, a tensão de entrada é menor que a tensão de saída.
   d) no transformador abaixador, a tensão de entrada é igual à tensão de saída.

3. Assinale a afirmação correta:
   a) a corrente alternada é transformada em corrente contínua pelo transformador.
   b) o transformador é usado para obter tensões adequadas ao circuito, a partir de diversas tensões de rede.
   c) os circuitos de retificação servem para aumentar ou diminuir a tensão fornecida pela rede.
   d) os filtros não podem ser utilizados quando a carga exigir uma tensão mais contínua.

4. Assinale a afirmação correta:
   a) na retificação de meia-onda são usados dois diodos.
   b) na retificação de onda completa é usado apenas 1 diodo.
   c) na retificação em ponte são usados 4 diodos.
   d) na retificação de onda completa são usados 3 diodos.

5. As curvas da figura 11 desta lição são usadas:
   a) para retificação de onda completa.
   b) para retificação de meia-onda.
   c) para retificação em ponte.
   d) para retificação de meia-onda ou onda completa.

6. As curvas da figura 12 desta lição são usadas:
   a) só para retificação de onda completa.
   b) só para retificação em ponte.
   c) para retificação de meia onda.
   d) para retificação de onda completa ou em ponte.

7. Para uma fonte de alimentação com capacitor de entrada e com retificação de onda completa, a corrente média nos diodos será:
   a) igual à corrente absorvida pela carga.
   b) o dobro da corrente absorvida pela carga.
   c) metade da corrente absorvida pela carga.
   d) maior do que a corrente absorvida pela carga.

8. Para uma fonte de alimentação com capacitor de entrada e com retificação de onda completa, a tensão de pico reversa será:
   a) igual à tensão de pico da corrente alternada.
   b) menor que a tensão de pico da corrente alternada.
   c) metade da tensão de pico da corrente alternada.
   d) o dobro da tensão de pico da corrente alternada.

Direitos reservados

9. Para uma fonte de alimentação com capacitor de entrada, é correto afirmar:
   a) a potência relativa do transformador na retificação de meia onda é maior do que na de onda completa
   b) a potência relativa do transformador na retificação em ponte é maior do que na de onda completa.
   c) a potência relativa do transformador na retificação de meia-onda é maior do que na retificação em ponte.
   d) a potência relativa do transformador será maior, quando a retificação for a de onda completa.

10. Para uma fonte de alimentação com indutor de entrada, é correto afirmar:
   a) um filtro com indutor de entrada só é utilizado com retificação de onda completa ou em ponte.
   b) um filtro com indutor de entrada é utilizado em qualquer tipo de retificação.
   c) uma fonte de alimentação com filtro com indutor de entrada é a mais usada atualmente.
   d) para retificação de onda completa ou em ponte, as características dos componentes são determinadas exatamente da mesma forma.

11. Para uma fonte de alimentação com indutor de entrada, a corrente média que aparece em cada diodo é:
   a) igual à corrente total.
   b) metade da corrente total.
   c) o dobro da corrente total.
   d) maior do que a corrente total.

12. Com relação a um pequeno transformador de alimentação é correto afirmar:
   a) as perdas que ocorrem no núcleo dependem da massa de ferro.
   b) o volume do núcleo só depende da área das lâminas.
   c) as perdas no cobre não dependem da resistência de cada enrolamento.
   d) se as perdas no cobre forem metade das perdas no ferro, tem-se um valor ótimo.

13. Com relação à temperatura de funcionamento dos pequenos transformadores de alimentação é correto afirmar:
   a) por serem pequenos, a temperatura não tem importância.
   b) a temperatura máxima admitida por estes transformadores nos equipamentos domésticos é de 105°C.
   c) a temperatura não tem influência sobre a resistência dos enrolamentos.
   d) a resistência "a frio" é igual à resistência "a quente".

14. As curvas de Schade são empregadas em:
   a) projeto de fonte de alimentação com capacitor de entrada.
   b) projeto de fonte de alimentação com indutor de entrada.
   c) projeto de pequenos transformadores de alimentação.
   d) projeto de indutâncias de filtro.

15. Assinale a afirmativa correta.
   a) numa fonte de alimentação com capacitor de entrada, se for aumentada a capacitância, os diodos precisam ser mais reforçados.
   b) as fontes de alimentação só funcionam com circuito de retificação em ponte.
   c) as fontes de alimentação precisam ter um transformador com tensão de saída de 110 volts.
   d) o filtro de uma fonte de alimentação precisa ter, obrigatoriamente, um indutor.

16. Assinale a afirmativa correta:
   a) numa fonte de alimentação com indutor de entrada, os diodos são colocados em seguida ao indutor.
   b) numa fonte de alimentação com indutor de entrada e com retificação em ponte, o transformador precisa ter uma derivação central.
   c) numa fonte de alimentação com indutor de entrada, a tensão eficaz do secundário do transformador é maior do que a tensão contínua do filtro.
   d) numa fonte de alimentação com indutor de entrada, a máxima tensão inversa não tem importância para os diodos.

17. Para uma fonte de alimentação com indutor de entrada, é correto afirmar:
   a) a potência aparente do transformador é a mesma potência aparente fornecida ao circuito.
   b) a potência aparente do transformador é menor do que a potência aparente fornecida ao circuito.
   c) a potência aparente fornecida ao circuito, independe do tipo de circuito de retificação.
   d) a potência aparente do transformador pode ser determinada, dividindo-se a potência aparente fornecida ao circuito pelo fator de utilização (γ).

18. Com relação ao gráfico da figura 30 desta lição, é correto afirmar:
   a) não permite fazer uma estimativa sobre a elevação da temperatura.
   b) para uma determinada área das faces do transformador, o gráfico informa, diretamente, o aumento na temperatura.
   c) quanto maior a área das faces do transformador, menor a perda de potência.
   d) quanto maior a área das faces do transformador, maior a perda de potência.

Direit...