

ELETRÔNICA

PARA A JUVENTUDE

Original de **NEWTON C. BRAGA**
Coordenação de **RONALDO B. VALENTE**



Esta seção, destinada a divulgar os princípios da eletrônica e da eletricidade, foi iniciada em E-P, vol. XXIV, n.º 4, maio de 1968, interessando aos que gostam do assunto e, mais ainda, de realizar tarefas práticas.

APLICAÇÕES DAS VÁLVULAS ELETRÔNICAS

DA mesma forma que iniciamos o estudo das válvulas eletrônicas pelo diodo, que é sem dúvida a válvula mais elementar, também neste capítulo, que inicia as aplicações das válvulas eletrônicas, veremos em primeiro lugar como se usa o diodo a vácuo. Esta válvula, da mesma forma que o diodo semicondutor, não é capaz de produzir amplificação, já que não é dotada de um elemento de controle do fluxo eletrônico, mas todos os equipamentos eletrônicos a válvulas incluem, sem dúvida, pelo menos um diodo a vácuo em seus circuitos.

A obrigatoriedade do uso do diodo a vácuo nos equipamentos a válvulas prende-se ao fato de que os circuitos eletrônicos são alimentados com tensões contínuas. Como a rede domiciliar de energia elétrica, por razões práticas, distribui usualmente uma tensão alternada de 110 V, 60 Hz, é preciso que esta tensão seja devidamente retificada e filtrada antes de ser levada a alimentar os circuitos eletrônicos, o que aliás já ficou dito em capítulos anteriores. E é aqui que a válvula diodo se faz necessária.

Seja o circuito da Fig. 17-1. Tal como no circuito da Fig. 17-2, a tensão alternada aplicada entre a placa ou anodo e a massa varia senoidalmente; quando a placa é positiva em relação ao catodo (que é ligado à massa através do resistor de carga), o que ocorre

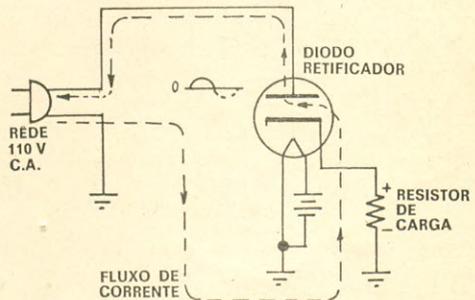


Fig. 17-1

durante cada semiciclo positivo da tensão alternada aplicada, estabelece-se uma corrente através do diodo e, conseqüentemente, através da carga. Note-se que quem sustenta essa corrente é o próprio gerador de C.A. representado aqui pela rede de 110 V.

Quando inverte-se a polaridade da tensão de placa, deixa de circular corrente pelo circuito, já que a válvula eletrônica para todos os efeitos não conduz no sentido inverso. Esta condição é mostrada na Fig. 17-2. Este circuito, portanto, só deixa passar corrente pela carga durante o semiciclo positivo

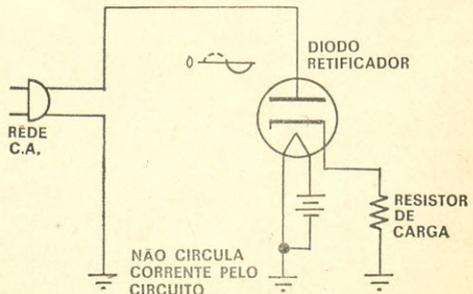


Fig. 17-2

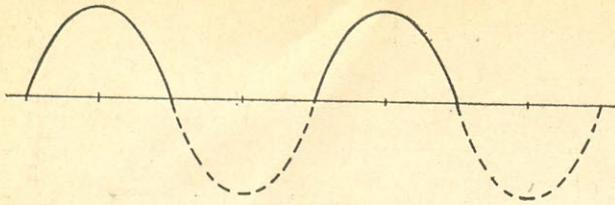


Fig. 17-3

da tensão de entrada, e como nessas condições a massa é a referência negativa, o **catodo durante o semiciclo positivo da tensão de entrada fica positivo em relação à massa.**

Como sabemos, a tensão de catodo assume a forma de onda mostrada em traço cheio na Fig. 17-3, o que caracteriza um **retificador de meia onda.** Essa tensão, entretanto, possui superposta à componente contínua uma forte componente de corrente alternada, sendo necessária uma filtragem bastante eficiente para retificá-la verdadeiramente, suprimindo toda ou quase toda a componente alternada que, neste caso, caracteriza a **tensão de zumbido** do circuito retificador.

Para realizarmos um **retificador de onda completa** necessitamos, em princípio, de uma fonte de C.A. simétrica em relação à massa, e isto é conseguido mediante a utilização de um transformador, como vemos na Fig. 17-4. Sobre este circuito, antes de entrarmos no mérito de seu funcionamento, precisamos tecer alguns comentários, apontando suas principais peculiaridades.

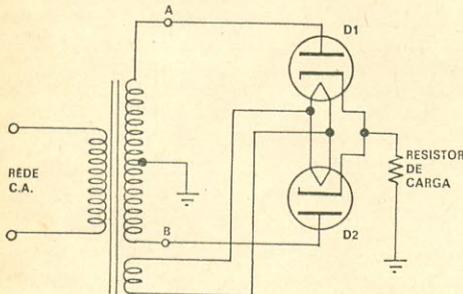


Fig. 17-4

Em primeiro lugar, como o leitor já terá observado, os filamentos das válvulas são aqui alimentados pela tensão alternada fornecida por um secundário separado do transformador. Essa tensão de alimentação, evidentemente, deve ser apropriada às características de filamento das válvulas; no caso das retificadoras, essa tensão é de 5 ou 6,3 volts.

Em segundo lugar, como aqui se usa um transformador, através da escolha da relação

de espiras entre o primário e o secundário simétrico pode-se obter qualquer tensão contínua à saída do retificador, dentro da faixa de operação das válvulas, o que não ocorria no caso do retificador de meia onda sem transformador. Evidentemente, se usarmos um retificador de meia onda com transforma-

dor, também teremos esta mesma facilidade.

Bem, mas vejamos como funciona o retificador de onda completa da Fig. 17-4. Quando é aplicada uma tensão alternada ao enrolamento primário do transformador, é induzida no secundário simétrico, que chamaremos daqui para a frente de secundário de alta tensão, uma tensão proporcional à relação de espiras, de tal forma que, quando o ponto A é positivo em relação à massa, o ponto B é negativo.

O ponto A, portanto, é positivo em relação à massa durante meio ciclo da tensão alternada de entrada, e nessas condições o diodo D1 conduz e o diodo D2 permanece cortado, já que os circuitos dos dois diodos completam-se através da carga. Assim sendo, circula uma corrente através do resistor de carga, o diodo D1, a metade superior do secundário de alta tensão do transformador T, retornando à massa.

No instante em que se inverte a condição dos pontos A e B em relação à massa, o diodo D1 é cortado e D2 conduz, circulando corrente através da carga, do diodo D2, da metade inferior do secundário de alta tensão do transformador, retornando à massa.

Como os leitores terão percebido, no retificador de onda completa circula corrente pela carga durante os dois ciclos da corrente alternada de entrada, e a tensão de saída do retificador assume a forma de onda mostrada em traço cheio na Fig. 17-5. Nesta mesma figura estão indicados o corte e a condução dos dois diodos.

Na prática, os dois diodos da Fig. 17-4 são substituídos por uma válvula dupla, o que facilita bastante as ligações e, ainda, constitui uma solução mais econômica. Tal circuito é mostrado na Fig. 17-6, e este é o retificador de onda completa que os leitores acharão em todos os circuitos de receptores e amplificadores a válvulas que verão

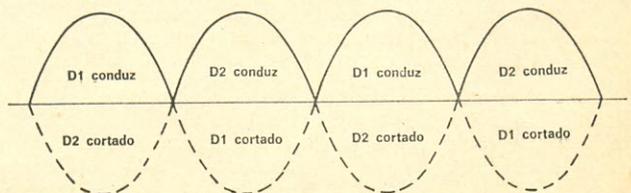


Fig. 17-5

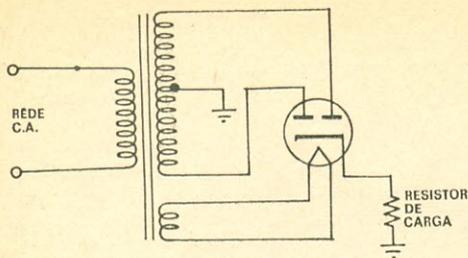


Fig. 17-6

futuramente. Eventualmente, a única variação que poderá ocorrer é o emprêgo de uma válvula de aquecimento direto, sendo o resistor de carga ligado a um dos lados do filamento.

Mas ainda aqui a tensão de saída do retificador possui uma componente alternada que caracteriza o zumbido, e se bem que ela seja bem inferior à do retificador de meia onda, também precisa ser filtrada. No capítulo XIV desta série já vimos como funcionam os filtros para fontes de alimentação, baseados na pequena reatância que um capacitor de alta capacitância, geralmente eletrolítico, oferece à passagem de uma corrente alternada. Pois bem, êsse mesmo filtro poderá ser aqui utilizado sem qualquer restrição, desde que convenientemente dimensionado.

Com os conhecimentos até aqui adquiridos, acreditamos que os leitores já se sintam em condições de acompanhar o projeto de um circuito retificador, que não é nada complicado. Isso, futuramente, lhes dará a faculdade de realizar seus próprios circuitos, quando necessitarem de um retificador para suas experiências. E para tornar nosso estudo mais completo, calcularemos um retificador de meia onda e outro de onda completa, liquidando definitivamente o assunto.

UM RETIFICADOR DE MEIA ONDA

Vamos supor que precisamos alimentar uma carga que necessite uma corrente contínua de 80 mA, sob 100 V. Para correntes até essa ordem de grandeza é possível utilizar um retificador de meia onda a válvula, e a primeira coisa que devemos fazer é escolher a válvula capaz de fornecer essa potência. Dentre os tipos mais comuns podemos citar os diodos do tipo 35W4 ou 35Z5, a primeira um tipo miniatura com base de sete pinos e a segunda uma octal de vidro.

Vamos supor que tenhamos escolhido a 35W4 para o nosso retificador de meia onda, cujo circuito é mostrado na Fig. 17-7. Sobre êste circuito precisamos esclarecer que:

a) O resistor R, incluído no circuito de alimentação do filamento, tem a finalidade de proporcionar uma queda de tensão tal que sobre o filamento só sejam aplicados 35 volts, que é a sua tensão de alimentação.

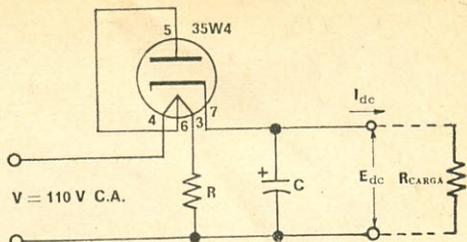


Fig. 17-7

Como a tensão da rêde C.A. é de 110 V, R deve ser calculado para proporcionar uma queda de tensão de $110 - 35 = 75$ V. Considerando que a corrente de filamento é de 150 mA, pela lei de Ohm teremos:

$$R = \frac{75}{0,15} = 500 \text{ ohms.}$$

A potência dissipada por R será de:

$$P = I^2 R = 0,15^2 \times 500 = 11,25 \text{ watts.}$$

Logo, como sempre dimensionamos os resistores com uma tolerância de pelo menos 100% da potência dissipada, o resistor R deverá ser uma unidade de 500 ohms, 25 watts e, portanto, de fio.

b) A placa do diodo é ligada à rêde através de uma derivação do filamento. Isso tem a finalidade de introduzir uma resistência entre a placa e a rêde, para proteção da própria placa. E aproveitando a queda de tensão que se estabelece entre os pinos 4 e 6 da válvula, entre êles poderá ser ligada uma lâmpada-pilôto para indicar que o circuito está ligado. Isto é realmente feito nos retificadores que alimentam os pequenos receptores de mesa dotados de válvulas com filamentos em série.

De grande valia no caso do dimensionamento dos circuitos a válvulas são as características de funcionamento fornecidas pelos fabricantes ou encontradas nos manuais de válvulas. No caso da 35W4, uma das características típicas de funcionamento é:

Tensão alternada da fonte de alimentação de placa: $V_a = 110$ V

Capacitor de entrada do filtro: $C = 40 \mu\text{F}$

Impedância mínima efetiva total da fonte de alimentação de placa: 15 ohms

Corrente média de saída: 100 mA

Tensão contínua de saída na entrada do filtro:

Com corrente de carga de 50 mA: 128 V

Com corrente de carga de 100 mA: 112 V

Regulação da tensão de saída: aprox. 16 V

A Fig. 17-8 mostra as características da 35W4 para três valores de capacitor de fil-

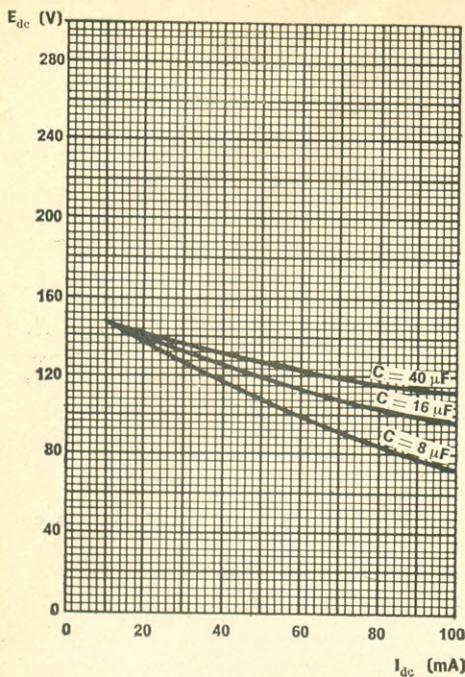


Fig. 17-8

tro, que servirão para o raciocínio que desenvolveremos a seguir. Em princípio, desejamos esclarecer que a redução da tensão contínua média de saída E_{dc} em função do valor do capacitor de filtro prende-se ao fato de que essa tensão é matematicamente igual à diferença entre o valor máximo da tensão senoidal de entrada E_m e a metade da tensão de crista de zumbido, E_r . Assim,

$$E_{dc} = E_m - \frac{E_r}{2}$$

Ora, como E_r será tanto menor quanto maior for o capacitor de filtro, depende-se que E_{dc} aumentará se aumentarmos o capacitor de filtro. E isto é mostrado nas características da Fig. 17-8.

Vemos então que é sempre conveniente usarmos um capacitor de filtro de valor tão elevado quanto possível, porém existe uma limitação para o valor desse capacitor ditada pelas próprias características construtivas da válvula. E isto porque quanto maior for este capacitor de filtro maior será o pulso de corrente que passará pela válvula durante o funcionamento, para um dado valor da carga, e a válvula deverá suportar esse regime de funcionamento sem se danificar. No caso da 35W4, costuma-se limitar o valor do capacitor de entrada do filtro em $50 \mu F$.

Bem, mas voltemos à condição imposta pelo nosso problema: o retificador deve fornecer 80 mA sob 100 volts. Entrando no eixo horizontal da Fig. 17-8 com o valor de 80 mA, e considerando um capacitor de entrada do filtro de $40 \mu F$, teremos que o valor médio da tensão contínua na entrada do filtro será de 116 volts. Ora, se nossa carga deve ser alimentada com apenas 100 volts, podemos ainda acrescentar uma nova seção de filtro, consistindo num resistor R_f e num capacitor C' , como indicado na Fig. 17-9.

Considerando que R_f deverá proporcionar uma queda de tensão de 16 volts e que a corrente que por ele circulará é de 80 mA, o seu valor ôhmico será:

$$R_f = \frac{16}{0,08} = 200 \text{ ohms.}$$

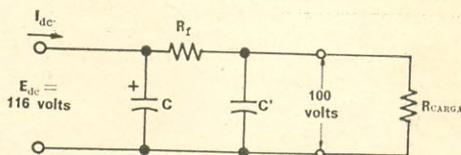


Fig. 17-9

A potência que R_f dissipará é:

$$P_f = \frac{V^2}{R} = \frac{16^2}{200} = \frac{256}{200} = 1,28 \text{ watts}$$

Logo, R_f deve ser um resistor de, pelo menos, 3 watts, e como não é comercial um resistor com essa característica, poderão ser usados dois resistores de 400 ohms, 2 watts, em paralelo.

O capacitor C' poderá ter a mesma capacitância de C , isto é, $40 \mu F$. Como esses capacitores são submetidos, respectivamente, a 100 V e a 116 V, sua especificação de tensão poderá ser 150 V, e eventualmente poderão constituir uma unidade dupla.

A verificação do fator de ondulação, r , da tensão de saída da fonte pode ser feita para o filtro da Fig. 17-9, pela fórmula:

$$r = \sqrt{2} \frac{X_{C'}}{R_{CARGA}} \times \frac{X_C}{R_f}, \text{ onde}$$

$X_{C'}$ e X_C são as reatâncias de C' e C na frequência da rede, pois num retificador de meia onda, o período das pulsações à entrada do filtro é igual ao período da tensão da

rêde C.A., já que para cada ciclo da C.A. tem-se um período de condução da válvula.

Se a frequência da rêde fôr 60 Hz, a fórmula acima pode ser escrita do seguinte modo:

$$r = \frac{10^7}{C \times C' \times R_f \times R_{CARGA}}$$

sendo as resistências expressas em ohms e as capacitâncias em microfarads.

Para o nosso caso, teremos:

$$R_{CARGA} = \frac{100}{0,08} = 1250 \text{ ohms}$$

$$R_f = 200 \text{ ohms}$$

$$C = C' = 40 \text{ microfarads}$$

Logo,

$$r = \frac{10^7}{40 \times 40 \times 200 \times 1250} = \frac{10^7}{4 \times 10^8} =$$

$$r = \frac{1}{40} = 0,025$$

Este fator de ondulação, apesar de bem pequeno, pode não se prestar a aplicações onde a tensão de alimentação deve ser literalmente plana, como no caso dos amplificadores de alta sensibilidade, sujeitos a zumbidos presentes na própria alimentação. Mas na maior parte dos casos, a tensão contínua na saída da fonte de alimentação que acabamos de calcular já pode ser usada sem restrições.

A montagem da fonte poderá ser realizada sem maiores dificuldades. Para tanto, o leitor deverá dispor do seguinte material:

- 1 válvula 35W4
- 1 resistor de 500 ohms, 25 watts, fio

- 1 resistor de 200 ohms, 4 watts (ou dois resistores de 400 ohms, 2 watts, ligados em paralelo)
- 1 capacitor eletrolítico de 40 + 40 microfarads, 150 volts
- 1 chassi metálico de 15 × 10 × 5 centímetros
- 1 soquete para válvula de 7 pinos
- 1 cordão de alimentação, com plugue
- 1 ponte isolada, com dois terminais
- 1 borne isolado, vermelho
- 1 borne não-isolado, preto

A Fig. 17-10 mostra o chapeado da fonte. Deve-se notar que o eletrolítico duplo utilizado foi um tipo para baixo do chassi, onde as armaduras positivas dos dois capacitores são ligados de um mesmo lado, e a armadura negativa comum do outro. Mas se o leitor preferir, poderá utilizar um eletrolítico para cima do chassi, fazendo as devidas alterações na montagem da fonte. Note-se que, neste caso, a armadura negativa do capacitor é o próprio invólucro metálico, que na montagem vai mesmo ligado ao chassi.

RETIFICADOR DE ONDA COMPLETA

No projeto do nosso retificador de onda completa vamos considerar um filtro com a configuração do da Fig. 17-9 (chamado filtro em pi), porém substituindo o resistor de filtro R_f por um reator de filtro L . Com esse tipo de filtro, a tensão retificada que alimenta a carga tem fator de ondulação muito pequeno, pois em lugar da resistência R_f consideraremos a reatância X_L do reator, na frequência da tensão retificada na entrada do filtro, para o cálculo do referido fator.

Assim sendo, consideremos a fonte de retificação de onda completa da Fig. 17-10.

No cálculo dos componentes, utilizaremos agora um caminho diferente do seguido no cálculo do retificador de meia onda, partindo das especificações da saída que se deseja obter da fonte. Como exemplo, digamos que precisamos de uma tensão de 250 volts sob 100 miliampères, com um fator de ondulação de 0,01 por cento, ou seja, $r = 0,0001$.

Começemos por determinar o valor da resistência de carga R_L , que representa o circuito a ser alimentado pela fonte. Pela lei de Ohm, teremos:

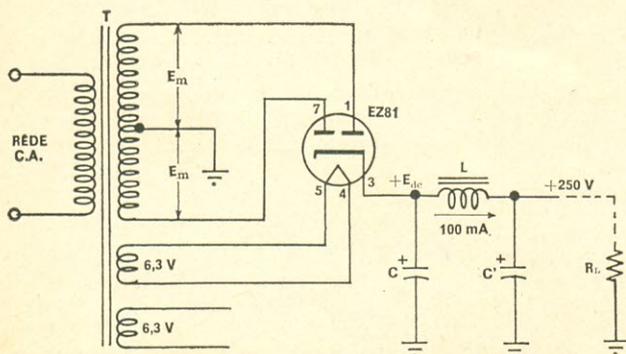


Fig. 17-10

$$R_L = \frac{250}{0,1} = 2500 \text{ ohms}$$

Para um retificador com o filtro indicado na Fig. 17-10, o fator de ondulação r pode ser calculado por:

$$r = \sqrt{2} \frac{X_C}{R_L} \times \frac{X_C}{X_L}$$

Evidentemente, aqui não se leva em conta o tipo de retificador empregado, isto é, não se considera se o retificador é de onda completa ou de meia onda. Logo, esta fórmula é absolutamente geral para um filtro em pi com reator, e dela se deriva a fórmula anteriormente apresentada para o filtro em pi com resistor, bastando para tanto que se substitua o valor de X_L pelo valor da resistência de filtro R_f . Evidentemente, as reatâncias são calculadas para a frequência da tensão na entrada do filtro.

Para um retificador de onda completa alimentado por uma rede de 60 Hz, a frequência da tensão na entrada do filtro é 120 Hz, e a fórmula do fator de ondulação pode ser escrita da seguinte forma:

$$r = \frac{3300}{C \times C' \times L \times R_L}$$

sendo as capacitâncias expressas em microfarads, a indutância em henrys e a resistência da carga em ohms.

Vamos agora supor, para facilitar os cálculos, que C e C' têm o mesmo valor, o que ocorre muitas vezes na prática. Então, para os valores de R_L e r estabelecidos para o nosso retificador teremos:

$$0,0001 = \frac{3300}{2500 \times C^2 \times L}, \text{ ou}$$

$$C^2 \times L = \frac{3300}{0,0001 \times 2500} = 13200.$$

Como chegamos a uma só equação ($C^2 \times L = 13200$) com duas incógnitas, teremos forçosamente que fixar uma das incógnitas e calcular a outra. Neste ponto entram em cena o bom senso para determinar a combinação mais econômica que possa cumprir a condição do problema. Consultando um catálogo de transformadores, encontramos, por exemplo, o reator n.º 3100 da Willkason, que tem 9,5 henrys e uma resistência de 260 ohms à corrente contínua, que pode ser de até 100 miliampères. Sendo este o tipo escolhido, tem-se que:

$$C^2 = \frac{13200}{9,5} = 1390$$

Logo, $C = 37,2$ microfarads

Como este valor não é comercial, usaríamos um capacitor eletrolítico duplo de 40 + 40 microfarads, capaz de suportar uma tensão de trabalho de 350 volts ou maior.

A queda de tensão no reator devida à circulação da corrente contínua de 100 miliampères (I_{dc}) pela carga é de:

$$V = R \times I_{dc} = 260 \times 0,1 = 26 \text{ volts}$$

Assim sendo, como a tensão contínua aplicada ao capacitor C' é de 250 V, sobre o primeiro capacitor deveremos ter $250 + 26 = 276$ volts.

A tensão máxima (E_m) entre um dos extremos de alta tensão do transformador T e o terminal central (massa) está relacionada com a tensão contínua na entrada do filtro (E_{dc}) pela fórmula:

$$E_{dc} = \frac{E_m^2}{E_m + \frac{I_{dc}}{4 \times f \times C}}, \text{ onde}$$

f é a frequência da rede, em hertz

I_{dc} é a corrente contínua solicitada pela carga, em ampères

C é a capacitância da entrada do filtro, em farads

Logo, entrando com os valores já calculados, teremos:

$$276 = \frac{E_m^2}{E_m + \frac{0,1}{4 \times 60 \times 40 \times 10^{-6}}}$$

$$\text{Então, } 276 = \frac{E_m^2}{E_m + 10,4}$$

Calculando agora o valor de E_m , acharemos:

$$E_m = 277 \text{ volts}$$

Se o valor máximo da tensão entre o extremo do secundário de alta tensão e a mas-

sa é de 277 volts, seu valor eficaz, para o qual ele é dimensionado, será de:

$$E_{\text{rms}} = \frac{277}{\sqrt{2}} = 196 \text{ volts.}$$

Como no cálculo acima desenvolvido não consideramos a queda de tensão interna da válvula durante a condução, devemos dimensionar o secundário do transformador com uma tensão ligeiramente superior à calculada, digamos, 200 volts. Escolheríamos, então, o transformador Willkason n.º 7110, capaz de fornecer os 100 miliampères para o retificador no secundário de 200-0-200 volts, e que possui ainda dois secundários de 6,3 volts, um para o filamento da retificadora (corrente de 1 ampère) e outro para os filamentos das válvulas do circuito alimentado pela fonte (corrente de 3,6 ampères).

Agora, só falta mesmo escolher a válvula retificadora com que iremos trabalhar. Consultando o manual de válvulas, vemos que dentre as retificadoras com filamentos para 6,3 volts podemos escolher a EZ81/6CA4, de aquecimento indireto e com base de 9 pinos, consumindo 1 ampère de corrente de filamento e podendo, portanto, ser alimentada pelo transformador escolhido. Essa válvula, é desnecessário dizer, pode fornecer com folgas a corrente de 100 miliampères solicitada pela carga.

Para a montagem da fonte com retificador de onda completa, portanto, precisamos dispor do seguinte material:

- 1 transformador de alimentação com primário para a rede C.A. e secundários de 200-0-200 volts, 100 miliampères, 6,3 volts, 1 ampère, e 6,3 volts, 3 ou mais ampères (Willkason 7110 ou equivalente)
- 1 reator de filtro de 9,5 henrys, 260 ohms, 100 miliampères (Willkason 3100 ou equivalente)
- 1 válvula retificadora EZ81/6CA4
- 1 capacitor eletrolítico duplo de 40 + 40 microfarads, 350 volts ou mais
- 1 cordão de alimentação
- 1 soquete para válvula de 9 pinos
- 1 chassi metálico com 15 × 10 × 5 centímetros
- Parafusos, porcas, ponte isolante, etc.

A montagem em si não oferece maiores problemas, e o leitor já tem suficiente prática para realizá-la, mesmo sem chapeados. Como indicação, diremos apenas que a fiação não é crítica, o mesmo ocorrendo com a disposição dos componentes.

Bem, por aqui encerraremos este décimo sétimo capítulo de **Eletrônica para a Juventude**, onde vimos a utilização da válvula diodo como retificadora. Se bem que ela possa ser utilizada, ainda, como detectora de sinais de R.F. modulados, numa função que, em última análise, também é de retificação, acreditamos que não estamos ainda em condições de entender todo o processo de detecção, e por isso deixaremos para outra ocasião a utilização da válvula diodo a vácuo como detectora.

No próximo capítulo veremos a aplicação do triodo como amplificador de sinais de áudio, com a montagem de alguns circuitos práticos. Assim, estaremos caminhando para o conhecimento de todos os circuitos básicos a válvulas, uma das metas a que nos propusemos.

QUESTIONÁRIO

- 1 — Num circuito retificador a válvula, qual a polaridade do catodo em relação à massa durante a condução da válvula?
- 2 — A tensão retificada, no catodo da retificadora, é uma C.C. pura? Em caso negativo, que providência deve ser tomada para torná-la o mais possível isenta de uma componente alternada?
- 3 — Por que é necessário usar um transformador num retificador de onda completa com dois diodos?
- 4 — Por que, num retificador de meia onda sem transformador, costuma-se ligar a placa da válvula à rede C.A. através de uma pequena resistência, e não diretamente?
- 5 — Num retificador de meia onda com a válvula 35W4 e capacitor de entrada do filtro de 40 microfarads, se a corrente debitada pela carga é de 60 miliampères, qual é a sua resistência?
- 6 — Qual o fator de ondulação da tensão de saída de um retificador de meia onda com filtro em pi, onde $C = C' = 50$ microfarads, o resistor de filtro $R_f = 500$ ohms e a resistência da carga é de 2500 ohms?
- 7 — Qual a vantagem da substituição do resistor de filtro por um reator?
- 8 — Num retificador de onda completa, qual deve ser a tensão eficaz da metade do secundário de alta tensão, necessária para que se tenha 300 volts na entrada do filtro, com uma queda de tensão na válvula de 10 volts, durante a condução? Sabe-se que a frequência da rede é de 60 Hz, que o capacitor da entrada do filtro é de 16 microfarads, e que a cor-