

Sumário

Introdução	5
Retificação de meia onda	6
Retificação de meia onda com diodo semiconductor	7
Semiciclo positivo	7
Semiciclo negativo	9
Medição da tensão na carga	10
Inconvenientes da retificação de meia onda	13
Fonte de alimentação de meia onda	14
Apêndice	19
Questionário	19
Bibliografia	19



Espaço SENAI

Missão do Sistema *SENAI*

Contribuir para o fortalecimento da indústria e o desenvolvimento pleno e sustentável do País, promovendo a educação para o trabalho e a cidadania, a assistência técnica e tecnológica, a produção e disseminação de informação e a adequação, geração e difusão de tecnologia.

Introdução

Muitos aparelhos eletrônicos operam no regime de corrente contínua. Para que seja possível alimentar tais aparelhos é necessário o emprego de circuitos capazes de transformar corrente alternada em corrente contínua. Circuitos com essa capacidade são genericamente denominados de retificadores.

Existem vários tipos de circuito retificador, dentre os quais o mais simples é o circuito retificador de meia onda, cujo princípio básico de operação será analisado neste fascículo.

Embora o circuito retificador de meia onda tenha aplicações muito limitadas, a compreensão do seu funcionamento é indispensável para o estudo de circuitos mais sofisticados, como aqueles utilizados em televisores, rádios e outros equipamentos eletrônicos.



Para a boa compreensão do conteúdo e desenvolvimento das atividades contidas neste fascículo, o leitor deverá estar familiarizado com os conceitos relativos a:

- * Corrente contínua.
- * Corrente alternada.
- * Diodo semicondutor.
- * Transformadores.

Retificação de meia onda

Retificação é o nome dado ao processo de transformação de corrente alternada (*ca*) em corrente contínua (*cc*). Esse processo é utilizado com a finalidade de permitir que equipamentos de corrente contínua sejam alimentados a partir da rede elétrica que é disponível apenas na forma de corrente alternada.

A **retificação de meia onda** é um processo de transformação de *ca* em *cc*, que permite o aproveitamento de apenas um semiciclo da tensão de alimentação da carga, conforme ilustrado na **Fig.1**.



Fig.1 Diagrama ilustrando o princípio de operação do circuito retificador de meia onda.

O circuito retificador de meia onda com diodo é empregado em equipamentos que, apesar de exigirem uma tensão de alimentação unipolar, não necessitam que a mesma permaneça constante como função do tempo como, por exemplo, nos carregadores de bateria.

RETIFICAÇÃO DE MEIA ONDA COM DIODO SEMICONDUTOR

As características de condução e bloqueio do diodo semicondutor podem ser utilizadas para obter uma retificação de meia onda a partir da corrente alternada da rede elétrica domiciliar. A configuração básica desse tipo de circuito é ilustrada na **Fig.2** e o comportamento da tensão na carga em cada semiciclo da tensão de alimentação é descrito a seguir.

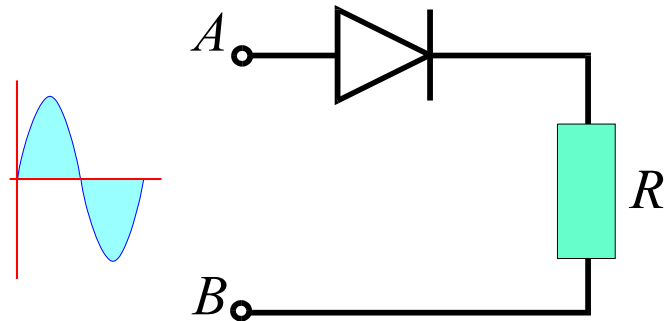


Fig.2 Circuito retificador de meia onda com diodo semicondutor.

SEMICICLO POSITIVO

Com base na **Fig.3**, a tensão no ponto *A* é positiva com relação ao ponto *B*, durante o semiciclo positivo. Com esta polaridade da tensão de entrada, o diodo entra no regime de condução, permitindo portanto a circulação de corrente.

Nessas condições, a tensão na carga assume uma forma próxima àquela da tensão de entrada, como pode ser observado na **Fig.3**.

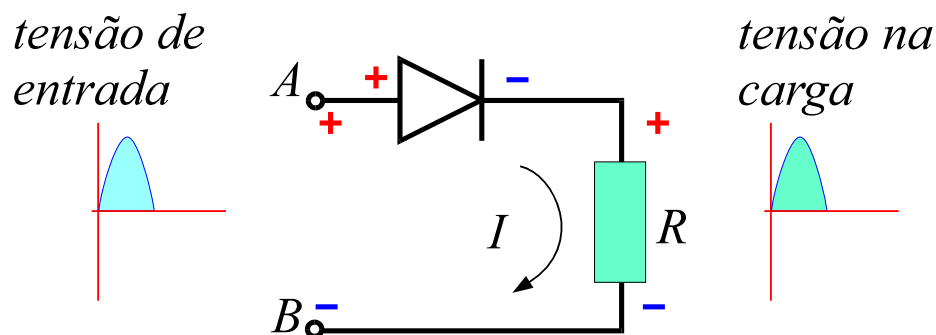


Fig.3 Alimentação da carga durante o semiciclo positivo da tensão de entrada.

No entanto, um exame mais minucioso da operação daquele circuito durante o semiciclo positivo mostra que existe uma pequena diferença entre as duas formas de tensão, conforme pode-se observar na **Fig.4**. Note-se que o diodo só entra efetivamente em condução a partir do instante de tempo em que a tensão de entrada supera o potencial de barreira V_B . A partir desse momento, a tensão no diodo mantém-se próxima ao valor V_B até o instante de tempo em que, após começar a decrescer, torna-se menor do que o valor V_B .

Sob essas condições, existirão dois pequenos intervalos de tempo, um no início e outro no fim do semiciclo positivo, durante os quais a tensão na carga é nula. Fora desses intervalos, a tensão de entrada supera o valor V_B e a tensão na carga assume uma forma próxima à tensão de entrada.

Vale também notar, conforme pode ser observado na **Fig.4**, que o valor máximo da tensão na carga é menor que o valor máximo da tensão de entrada, por uma quantidade igual à queda de tensão sobre o diodo no regime de condução. Esse valor é da ordem de 0,7 V para o diodo de silício. Em situações em que a condição $V_{\text{máx}} \gg V_B$ é satisfeita, a diferença entre as duas formas de tensão se torna desprezível durante o semiciclo positivo.

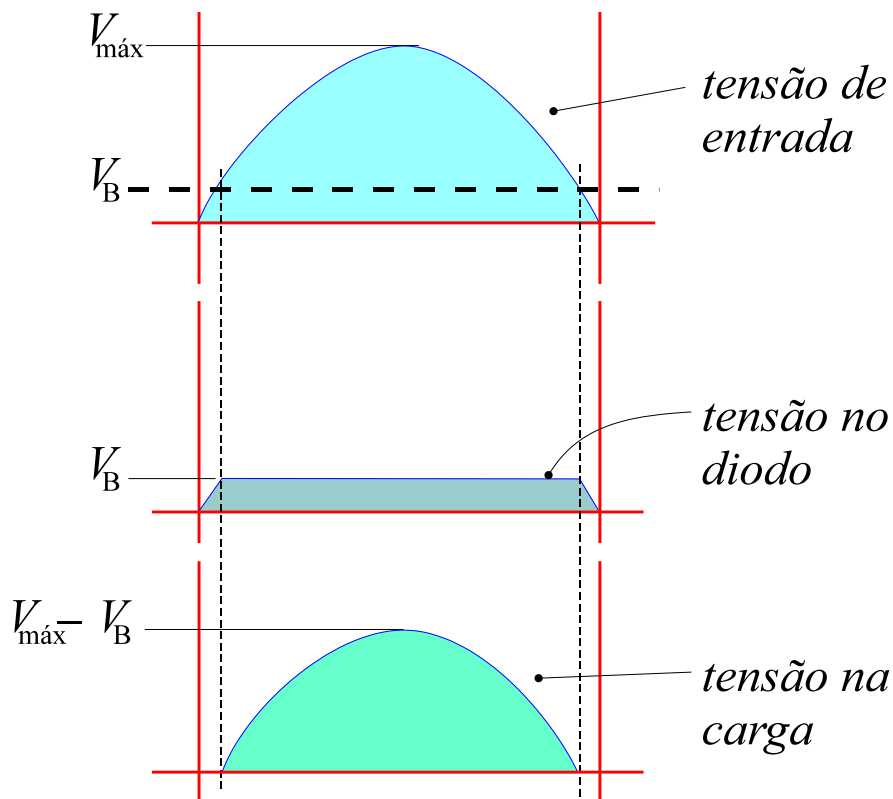


Fig.4 Detalhamento das formas de tensão na entrada do circuito, no diodo e na carga durante o semiciclo positivo.

SEMICICLO NEGATIVO

Durante o semiciclo negativo o potencial no ponto A se torna negativo em relação ao ponto B . Com essa polaridade na entrada, o diodo entra em bloqueio comportando-se efetivamente como uma chave aberta, impedindo a circulação de corrente, conforme ilustrado na **Fig.5**.

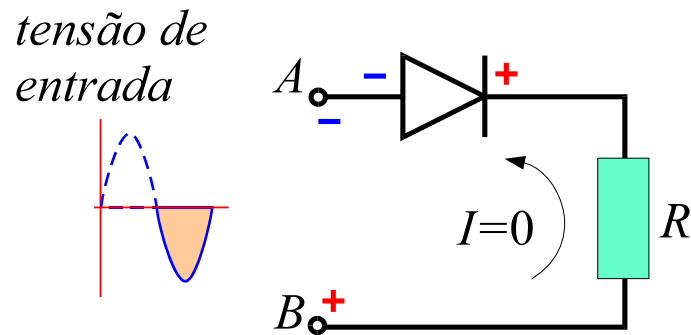


Fig.5 Circuito retificador durante o semiciclo negativo.

A condição de corrente nula no circuito implica que toda a tensão de entrada é transferida para o diodo, com a tensão na carga mantendo-se nula, conforme ilustrado na **Fig.6**.

Conclui-se, portanto, que para cada ciclo completo de tensão de entrada, apenas o semiciclo positivo é transferido diretamente para a carga, estando o semiciclo negativo aplicado diretamente entre os terminais do diodo.

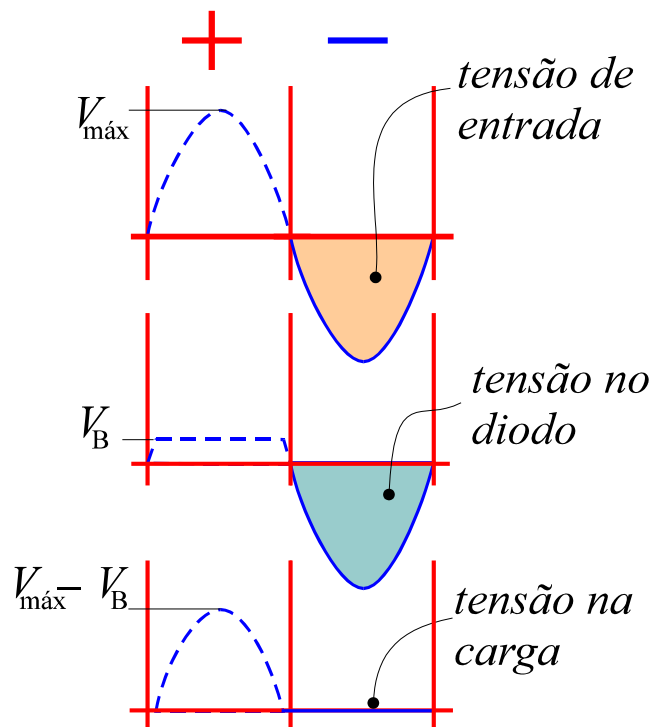


Fig.6 Tensões no circuito retificador durante o semiciclo negativo.

A forma de tensão resultante sobre a carga é denominada de **tensão contínua pulsante**. Esta denominação advém do fato de o fluxo de corrente no circuito se dar em um **único sentido** e na forma de **pulsos** separados por intervalos de tempo nos quais a corrente no circuito é nula.

Se a posição do diodo for invertida, conforme ilustrado na Fig.7, a tensão na carga simplesmente muda de sinal conforme ilustrado na Fig.8.

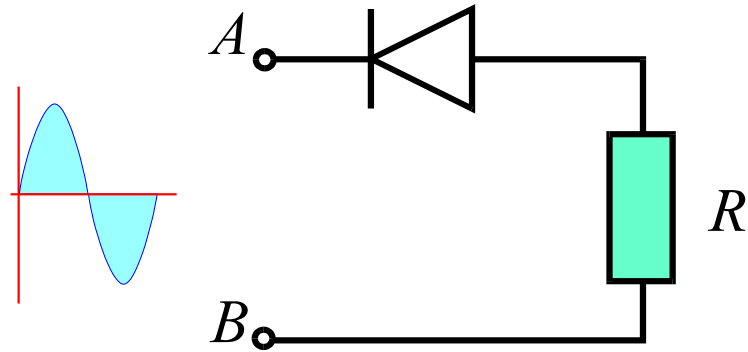


Fig.7 Circuito retificador com diodo invertido em relação à configuração mostrada na Fig. 2.

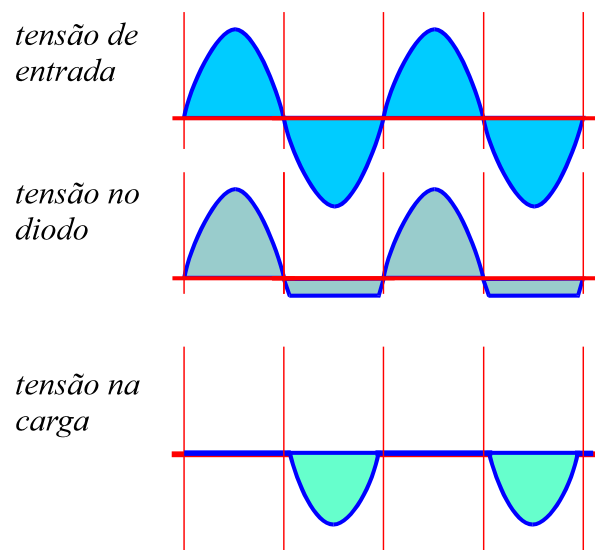


Fig.8 Dependência temporal da tensão na entrada, sobre o diodo e sobre a carga do circuito mostrado na Fig.7.

MEDIÇÃO DA TENSÃO NA CARGA

No circuito retificador de meia onda, a tensão de saída que é medida na carga é pulsada. Para medir essa tensão de saída, utiliza-se um multímetro ou um voltímetro de *cc* com as pontas de prova conectadas aos terminais da carga.



O voltímetro cc ou multímetro em escala de tensão cc, conectado à saída do circuito retificador, sempre indica um valor médio para a tensão contínua pulsante sobre a carga.

Na retificação de meia onda alternam-se os períodos de existência e inexistência de tensão sobre a carga. Conseqüentemente, o valor medido de tensão *cc* média sobre a carga é muito inferior ao valor efetivo *ca* que seria medido na entrada do circuito, conforme ilustrado na **Fig.9**.

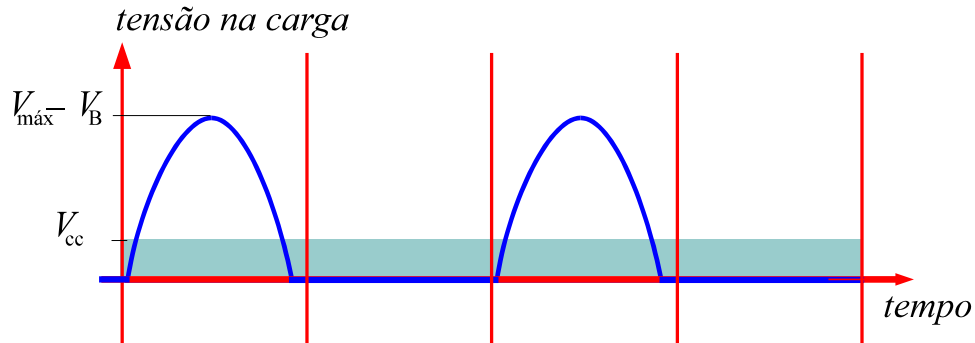


Fig.9 Dependência temporal da tensão na carga e valor médio *cc*.

A tensão média V_{cc} medida na carga, pode ser calculada pela expressão

$$V_{cc} = \frac{V_{máx} - V_B}{\pi} \quad (1)$$

onde:

V_{cc} = Tensão contínua média sobre a carga.

$V_{máx}$ = Valor máximo da tensão de entrada.

V_B = Queda de tensão no diodo durante o regime de condução, que equivale aproximadamente ao valor do potencial de barreira.

Quando o valor efetivo da tensão de entrada for muito superior ao valor V_B , este pode ser desprezado na **Eq.(1)** para o cálculo de V_{cc} . Com essa aproximação, a **Eq.(1)** assume a forma simplificada

$$V_{cc} = \frac{V_{máx}}{\pi} \quad (2)$$

ou utilizando a relação entre tensão máxima e tensão efetiva *ca*

$$V_{máx} = \sqrt{2} V_{ca} \quad (3)$$

tem-se que

$$V_{cc} = \frac{\sqrt{2} V_{ca}}{\pi} \quad (4)$$

Com valores típicos de 0,7 e 0,3V para os potenciais de barreira do silício e do germânio, respectivamente, a expressão aproximada dada pela **Eq.(4)** pode ser utilizada na prática quando a condição $V_{ca} > 10V$, for satisfeita.

A seguir é apresentado um exemplo de cálculo empregando as expressões exata e aproximada.

Exemplo 1: Para o circuito retificador com diodo de silício ilustrado na **Fig.10**, determinar V_{cc} com o uso das **Eqs.(1)** e **(3)** nos seguintes casos: (a) $V_{ca} = 6 V$; (b) $V_{ca} = 50 V$

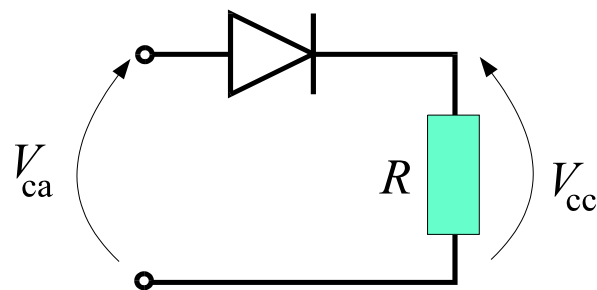


Fig.10 Circuito retificador de meia-onda.

a) Cálculo exato:

Utilizando $V_B = 0,7 V$ e a **Eq.(1)** com o auxílio da **Eq.(3)**, tem-se que,

$$V_{cc} = \frac{\sqrt{2} \times 6 - 0,7}{\pi} = 2,47 V$$

Cálculo aproximado:

Utilizando a **Eq.(4)**, tem-se que,

$$V_{cc} = \frac{\sqrt{2} \times 6}{\pi} = 2,70 V$$

Nota-se que o erro da aproximação neste caso fica em torno de 10% do valor exato.

b) Com $V_{ca} = 50 \text{ V}$ e $V_B = 0,7 \text{ V}$, e repetindo-se o procedimento adotado no item (a), obtém-se :

Cálculo exato: $V_{cc} = 22,30 \text{ V}$

Cálculo aproximado: $V_{cc} = 22,52 \text{ V}$

No presente caso $V_{ca} \gg V_B$ e o erro relativo da aproximação cai para 1% do valor exato.

Como a dependência temporal da corrente na carga é uma réplica daquela correspondente à tensão ilustrada na **Fig.9**, conclui-se que a corrente média no resistor R pode ser determinada simplesmente pela expressão

$$I_{cc} = \frac{V_{cc}}{R} \quad (5)$$

INCONVENIENTES DA RETIFICAÇÃO DE MEIA ONDA

A retificação de meia onda apresenta alguns inconvenientes decorrentes do princípio de funcionamento, conforme sumarizado a seguir.

Variação na tensão de saída

A tensão de saída é pulsante, variando, portanto, de forma significativa e diferindo sensivelmente de uma tensão contínua pura, conforme ilustrado na **Fig.11**.

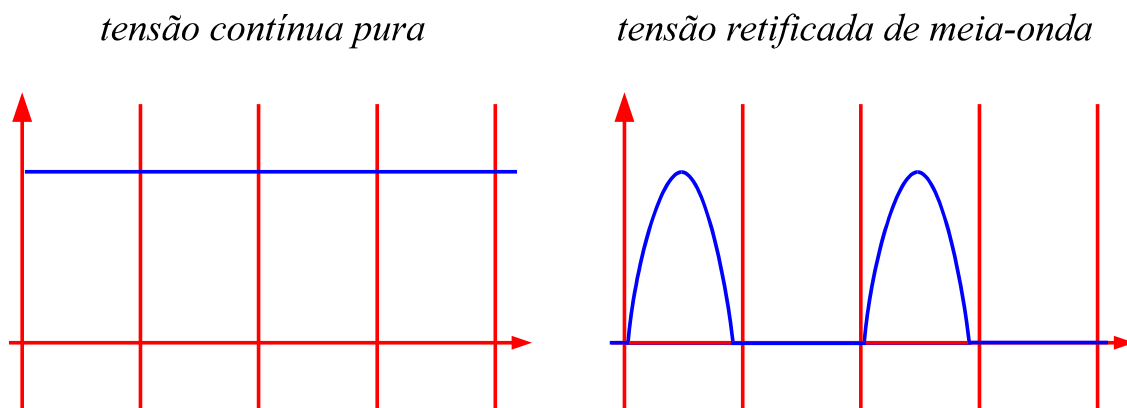


Fig.11 Dependências com o tempo da tensão puramente contínua e da tensão de saída de um circuito retificador de meia onda.

Baixo rendimento

O rendimento, definido pelo percentual da tensão contínua na saída relativo a uma dada tensão *ca* de entrada, é de apenas 45%.

Sub utilização da capacidade do transformador

Nas retificações empregando um transformador na entrada, existe um mau aproveitamento da capacidade de transformação pois a corrente circula em apenas um semiciclo.

FONTE DE ALIMENTAÇÃO DE MEIA ONDA

O circuito retificador de meia onda pode ser utilizado como fonte de alimentação para um circuito eletrônico. Para que se tenha uma fonte de alimentação completa, devem-se acrescentar ao circuito retificador os seguintes componentes:

- Uma chave liga-desliga.
- Um fusível de proteção.
- Uma chave seletora 110/220V.

O diagrama de circuito de uma fonte de alimentação utilizando esses componentes básicos é ilustrado na **Fig.12**, onde se pode observar a possibilidade de operação tanto em 220 quanto em 110 V na entrada.

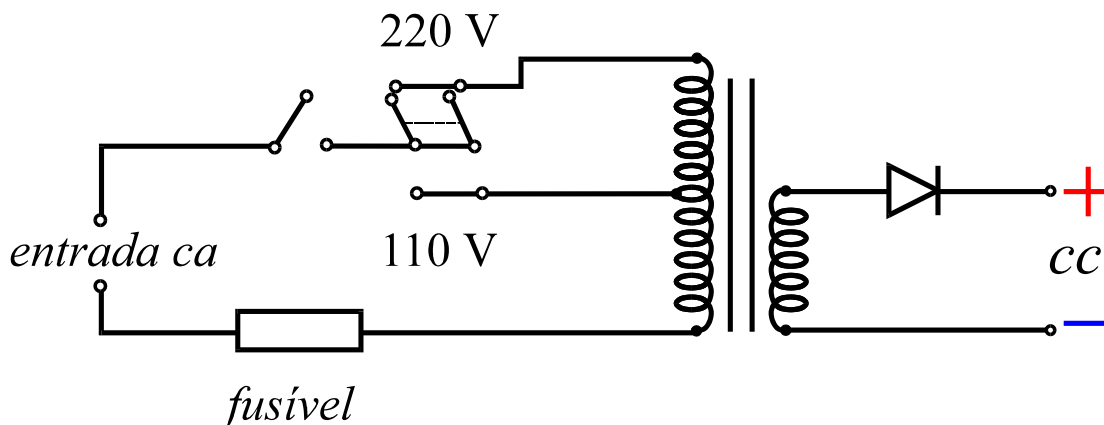


Fig.12 Diagrama de circuito de uma fonte de alimentação empregando retificador de meia onda.

A **Fig.13** mostra como poderia ser feita a interconexão dos componentes básicos utilizados no diagrama da **Fig.12**.

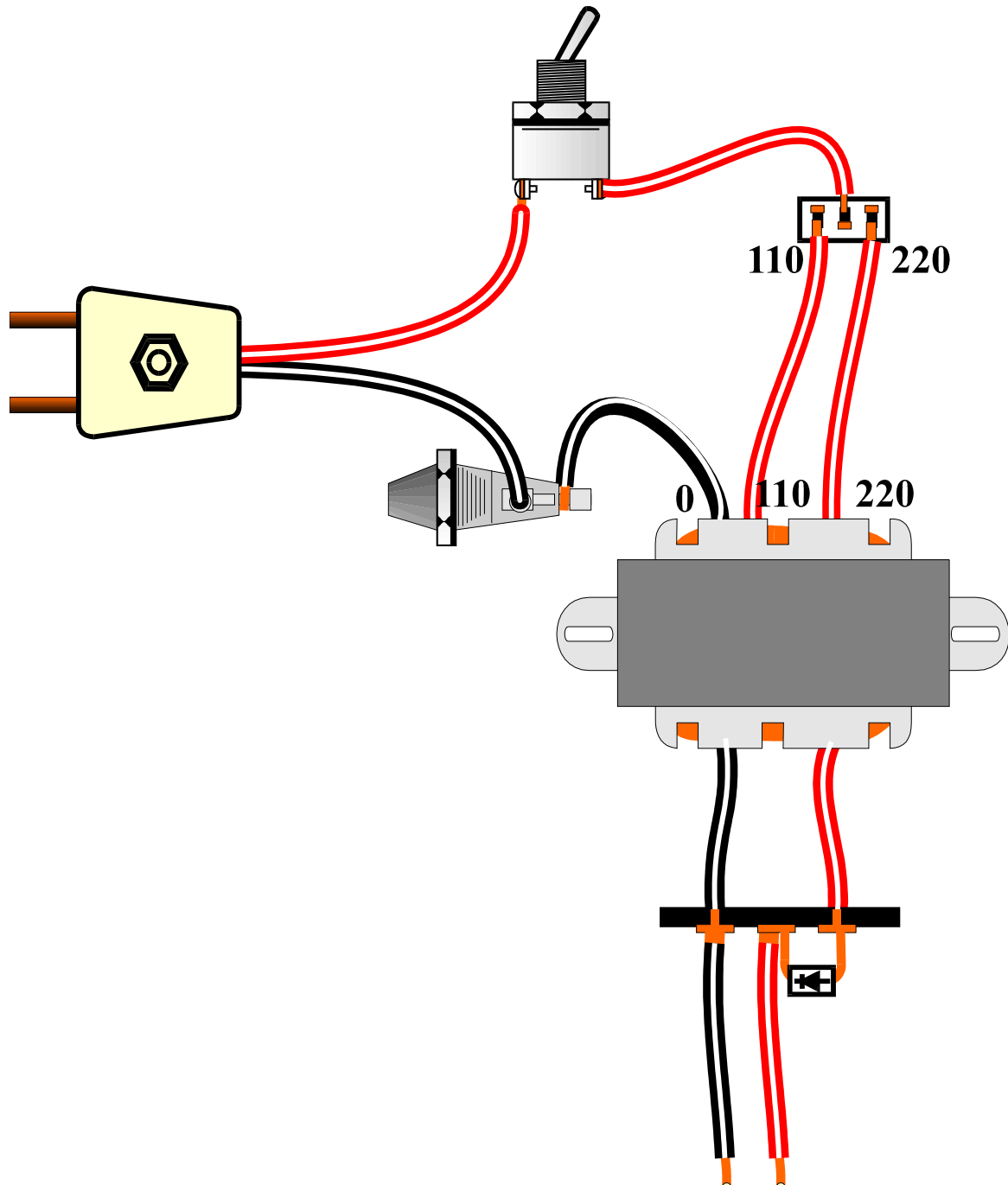


Fig.13 Interconexão dos componentes em uma fonte de alimentação empregando retificação de meia onda.

O circuito mostrado na **Fig.12** pode ser dividido em **quatro partes** ou **etapas** distintas, conforme pode ser visto na **Fig.14**:

- ETAPA 1: entrada.
- ETAPA 2: controle e proteção.
- ETAPA 3: transformação da tensão.
- ETAPA 4: retificação.

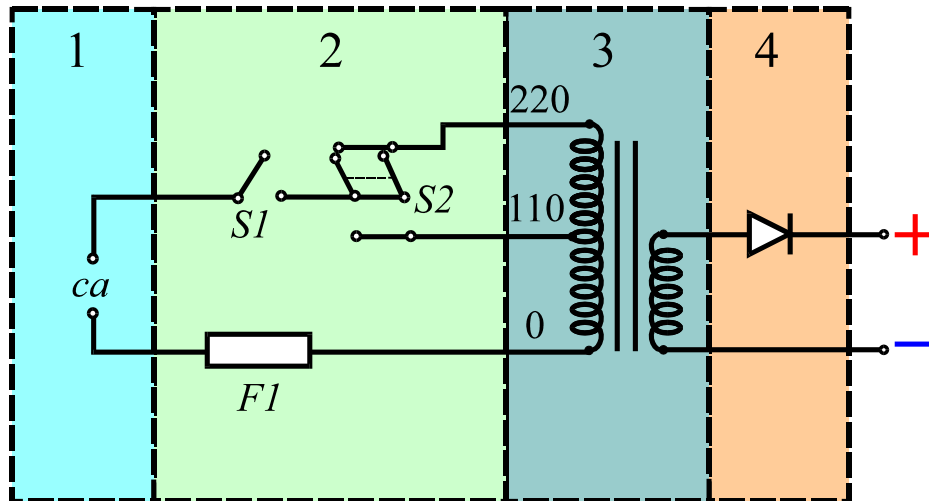


Fig.14 Divisão do diagrama de circuito da **Fig.12** em quatro partes distintas.

Quando uma fonte retificadora de meia onda apresenta defeito, deve-se executar uma seqüência de medidas que permitam localizar a porção ou etapa do circuito com problema para que se possa isolar o componente defeituoso.

Geralmente o defeito é constatado ao se realizar uma medida nos terminais de saída do circuito. Essa medida pode fornecer duas possibilidades de resposta:

- a) Existindo tensão *ca* na saída, pode-se imediatamente concluir que as porções ou etapas 1, 2 e 3 não apresentam problemas. O defeito provável é um curto no diodo.
- b) Não existindo tensão na saída, existem muitas hipóteses para o defeito. Deve-se, então, realizar o teste por etapas, como listado na **Tabela 1**.

Tabela 1 Seqüência de testes para diagnóstico de defeitos no circuito da **Fig.14**.

<p><u>Testar se há tensão na saída da ETAPA 3 (secundário do transformador).</u></p>	
<u>Sim:</u>	Defeito ocorrido na ETAPA 4 e o diodo está provavelmente em aberto.
<u>Não:</u>	Defeito ocorrido em alguma porção entre as ETAPAS 1 e 3
<p><u>Testar se há tensão na entrada da ETAPA 3 (primário do transformador).</u></p>	
<u>Sim :</u>	Defeito ocorrido na ETAPA 3 (transformador). Testar continuidade das bobinas do transformador com um ohmímetro.
<u>Não:</u>	Defeito ocorrido nas ETAPAS 1 ou 2.
<p><u>Testar se há tensão na entrada da ETAPA 1.</u></p>	
<u>Sim:</u>	Defeito na ETAPA 2 (controle e proteção). Testar componentes e conexões na ETAPA 2. Caso o fusível esteja rompido, descobrir a causa antes de substituir.
<u>Não:</u>	Testar cabo, plugue e verificar se há energia na tomada onde a fonte está sendo conectada.
<p><u>Observação:</u> Se o defeito for fusível rompido, verificar as causas do rompimento antes de realizar a substituição (diodo em curto, curto entre ligações, saída em curto). O rompimento do fusível também pode ser causado pelo funcionamento anormal do circuito alimentado pela fonte.</p>	

O procedimento descrito na **Tabela 1** pode ser organizado na forma de um fluxograma de execução dos testes para diagnóstico do defeito. O fluxograma correspondente está mostrado na **Fig.15**.

A técnica de retificação de meia onda é utilizada quando a carga não necessita ser alimentada por uma *cc* pura. Um exemplo típico de aplicação dessa técnica ocorre no caso dos carregadores de bateria. Nestes dispositivos requer-se

que a corrente de alimentação seja unidirecional, não importando muito a sua forma como função do tempo.

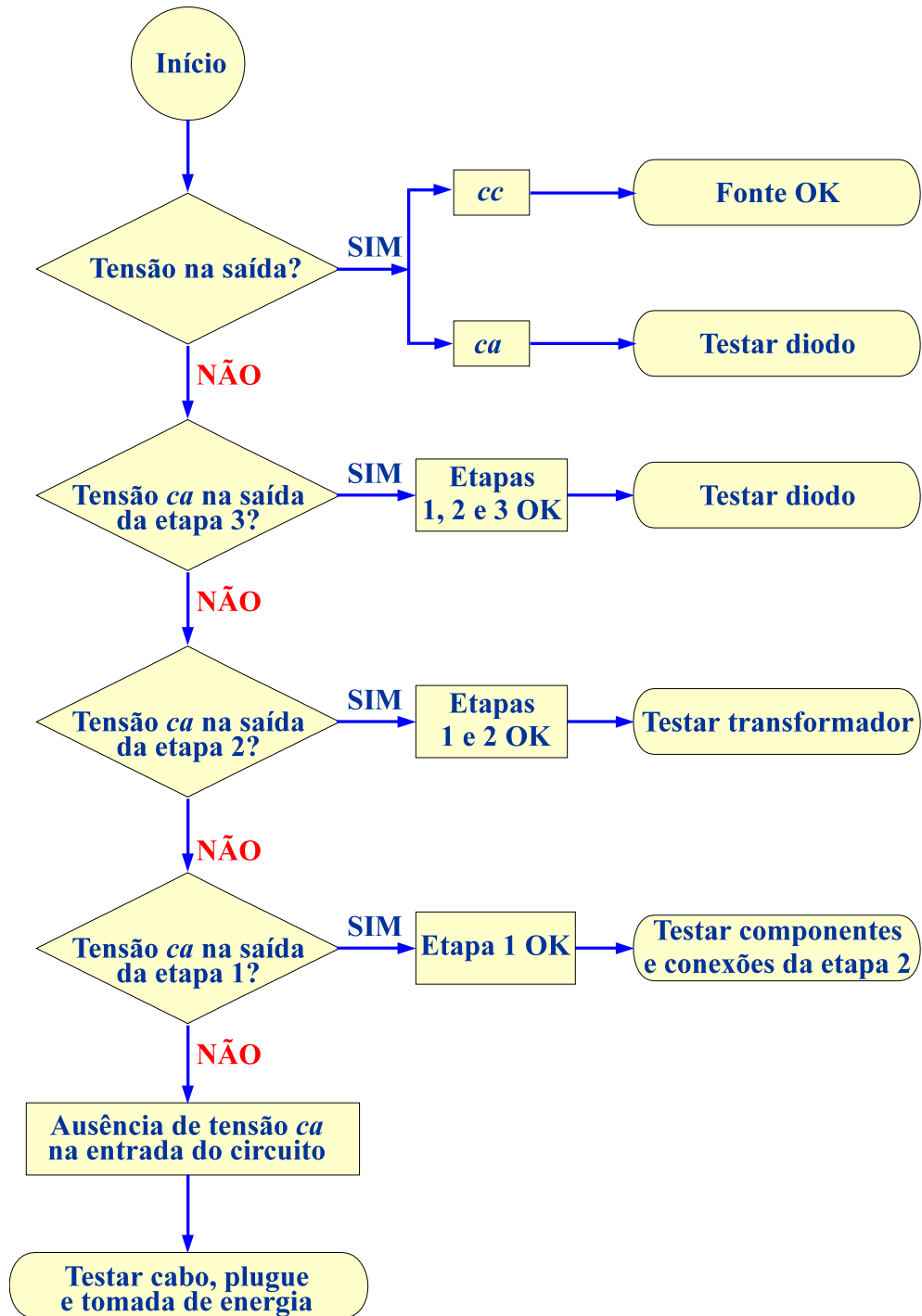


Fig.15 Fluxograma auxiliar para o diagnóstico de defeitos em um circuito retificador de meia onda.

Apêndice

QUESTIONÁRIO

1. O que é retificação de meia onda?
2. Desenhe o diagrama de circuito de um retificador de meia onda com diodo semiconductor.
3. Descreva o princípio de funcionamento do retificador de meia onda com diodo semiconductor.
4. Qual o valor da tensão média medida na carga de um retificador a diodo submetido a uma entrada senoidal tendo $V_{\text{máx}} = 3 \text{ V}$?
5. Qual a tensão efetiva referente ao resultado obtido na questão 4 ?
6. Se a resistência de carga da questão 4 vale 100Ω , quais os valores da corrente média e corrente efetiva na carga?
7. Quais são os inconvenientes do processo de retificação de meia onda?

BIBLIOGRAFIA

ARNOLD, Roberts & BRANDT, Hans. Retificadores semicondutores não controlados. São Paulo, E. P. U., 1975, 49p. (Eletrônica Industrial, 1).

CIPELLI, Antônio Marco Vicari & SANDRINI, Waldir João. Teoria e desenvolvimento de projetos de circuitos eletrônicos. 8.^a ed., São Paulo, Érica, 1984, 580p.

SENAI/DN. Reparador de circuitos eletrônicos; Eletrônica Básica II. Rio de Janeiro, Divisão de Ensino e Treinamento , 1979 (Coleção Básica SENAI, Módulo 1).

TRAINING PUBLICATIONS DIVISION OF PERSONEL PROGRAM SUPPORT ACTIVITY. Curso de eletrônica. São Paulo, Hemus, c1975, 178p.

VAN VALKENBURG, NOOGER & NEVILLE. Eletrônica básica. 9.^a ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, c1975, v.6.

MILLMAN, Jacob e HALKIAS, Christos C., Integrated electronics: analog and digital circuits and systems, São Paulo, McGraw-Hill, 1972.