

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.

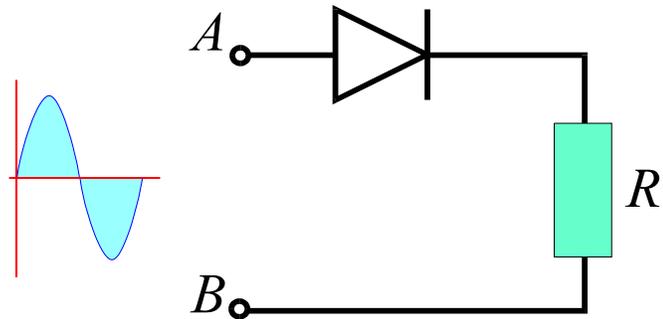


Fig.2 Circuito retificador de meia onda com diodo semicondutor.

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**.

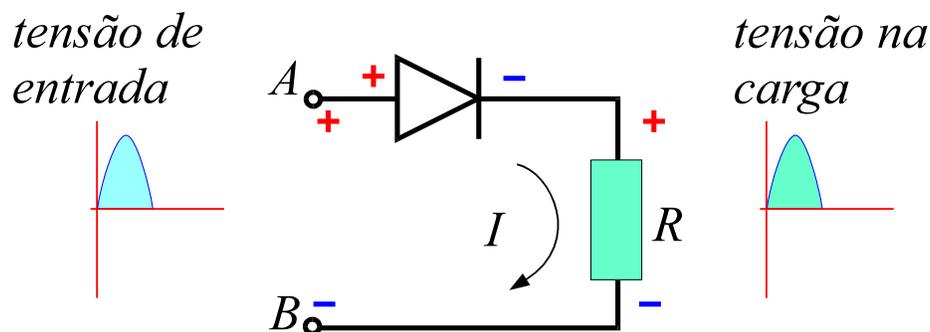


Fig.3 Alimentação da carga durante o semiciclo positivo da tensão de entrada.

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.

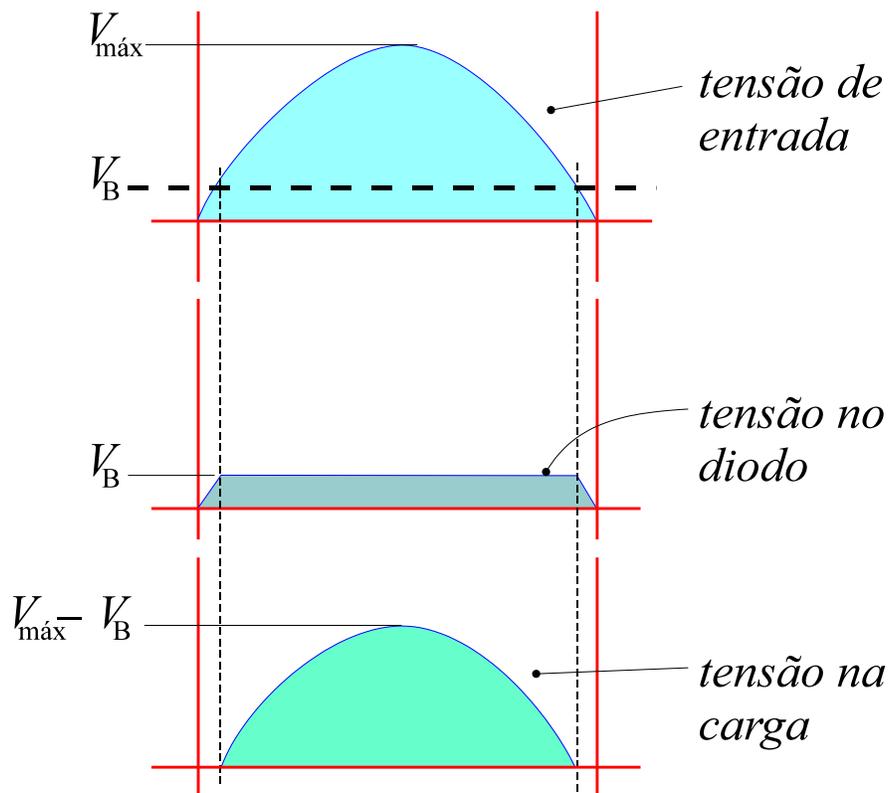


Fig.4 Detalhamento das formas de tensão na entrada do circuito, no diodo e na carga durante o semiciclo positivo.

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**.

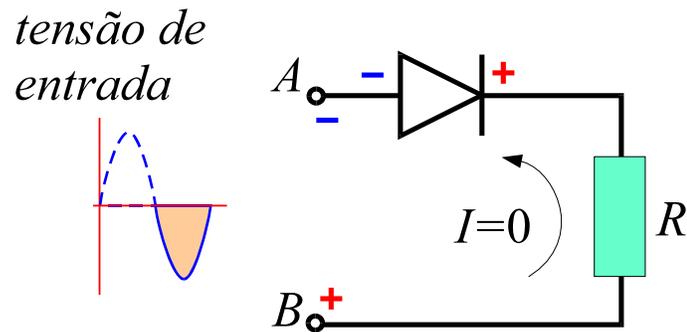


Fig.5 Circuito retificador durante o semiciclo negativo.

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.

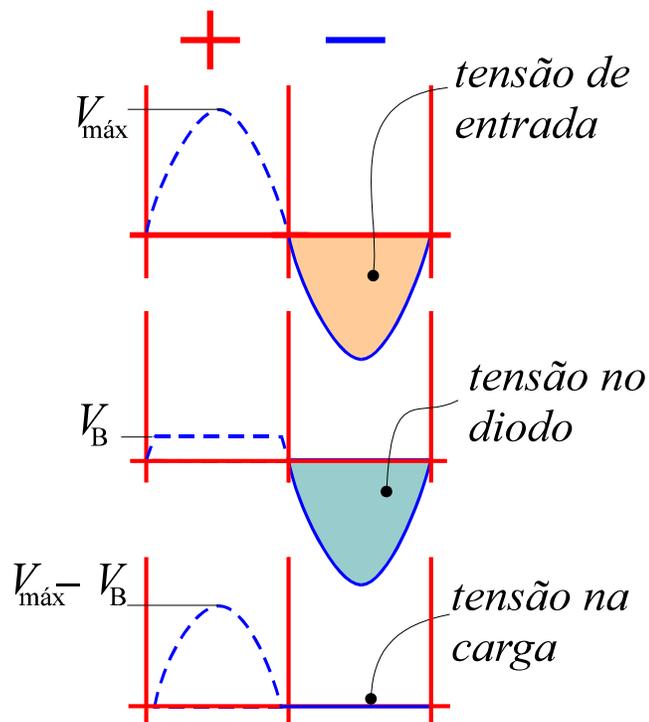


Fig.6 Tensões no circuito retificador durante o semiciclo negativo.

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.

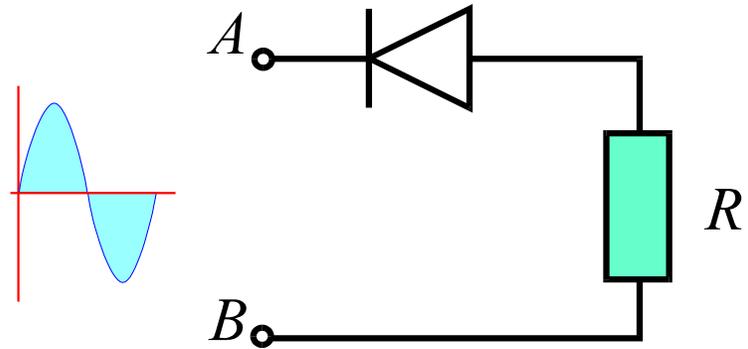


Fig.7 Circuito retificador com diodo invertido em relação à configuração mostrada na Fig. 2.

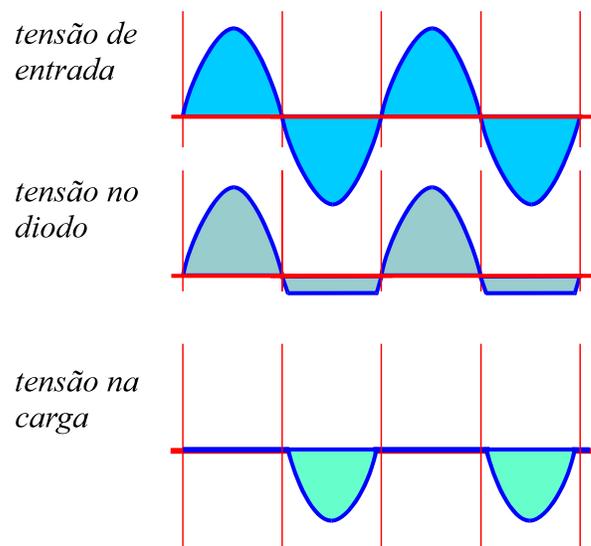


Fig.8 Dependência temporal da tensão na entrada, sobre o diodo e sobre a carga do circuito mostrado na Fig.7.

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**.

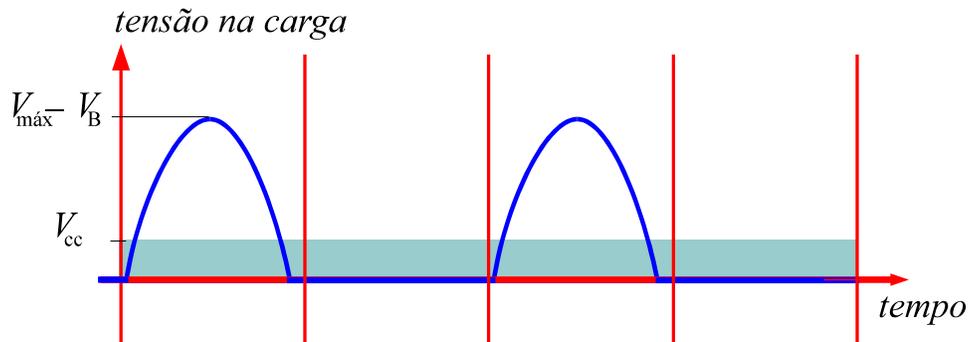


Fig.9 Dependência temporal da tensão na carga e valor médio *cc*.

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) $V_{ca} = 50 V$

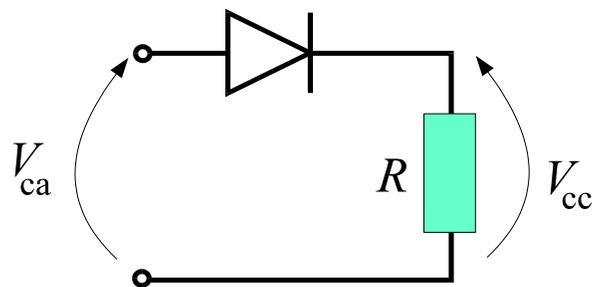


Fig.10 Circuito retificador de meia-onda.

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**.

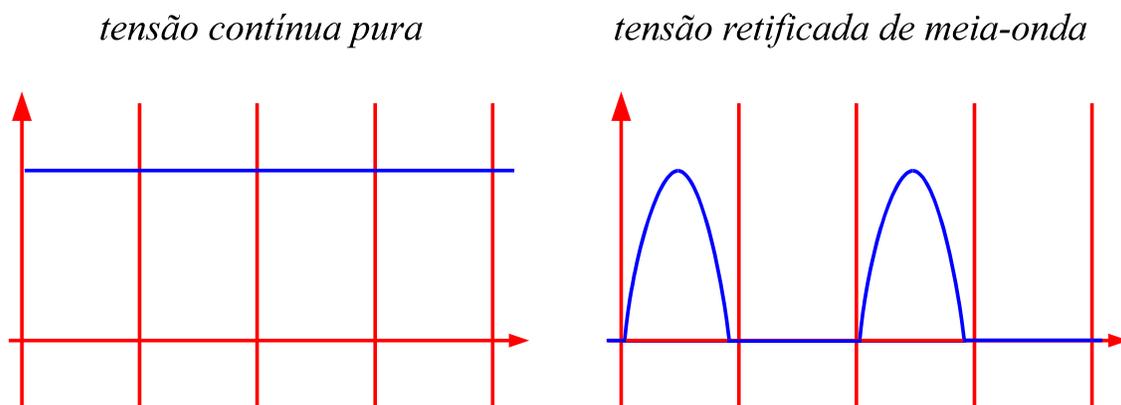


Fig.11 Dependências com o tempo da tensão puramente contínua e da tensão de saída de um circuito retificador de meia onda.

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.

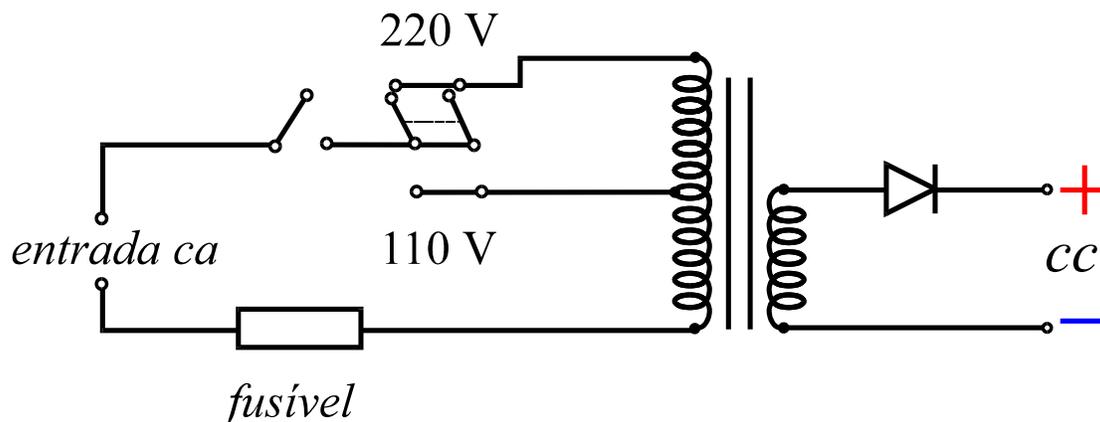


Fig.12 Diagrama de circuito de uma fonte de alimentação empregando retificador de meia onda.

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

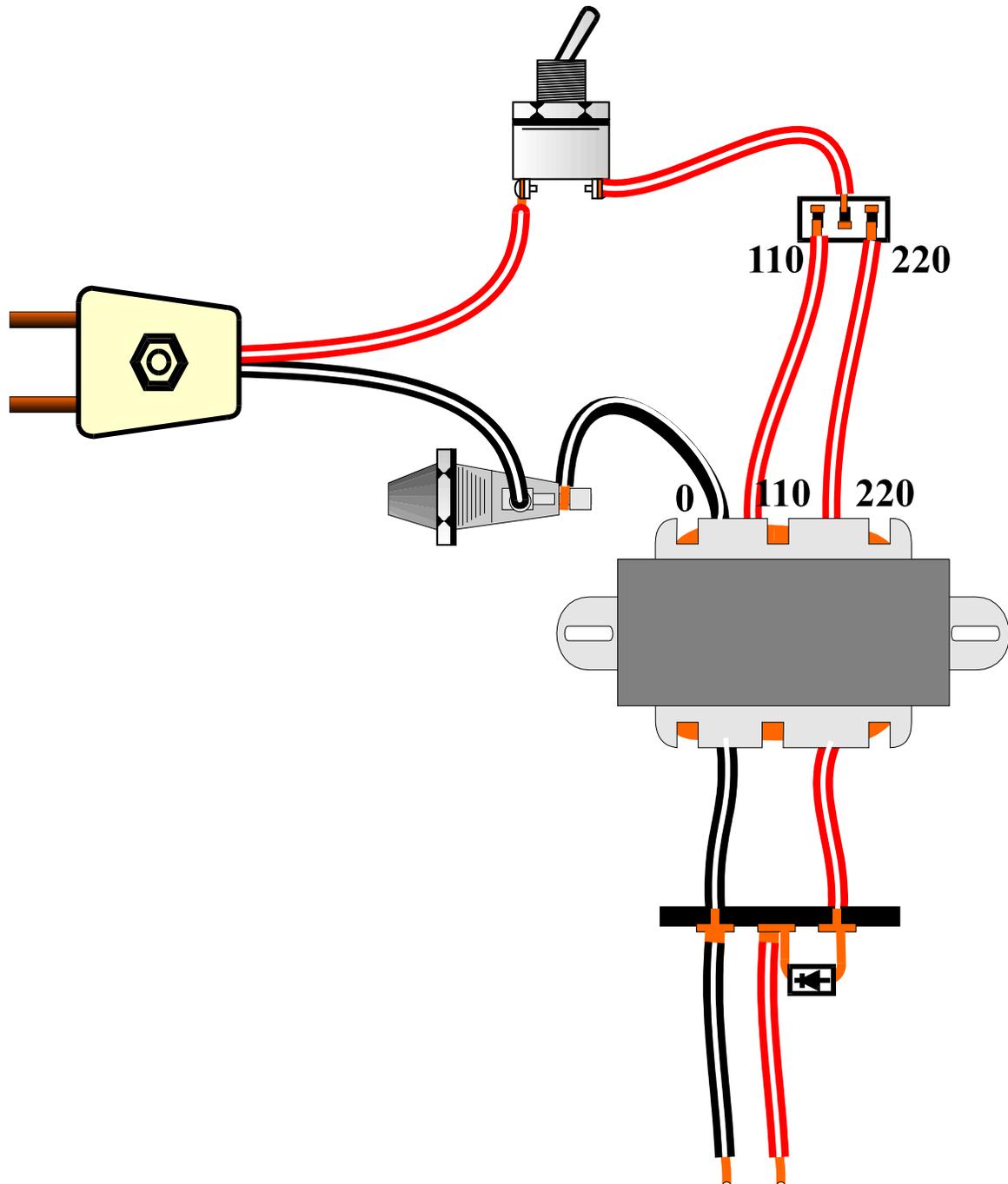


Fig.13 Interconexão dos componentes em uma fonte de alimentação empregando retificação de meia onda.

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.

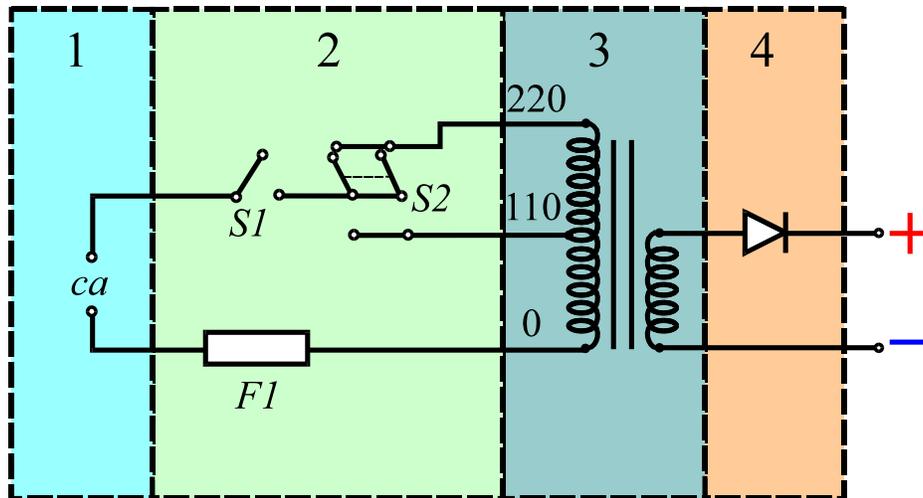


Fig.14 Divisão do diagrama de circuito da **Fig.12** em quatro partes distintas.

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> <p><u>Sim:</u> Defeito ocorrido na ETAPA 4 e o diodo está provavelmente em aberto.</p> <p><u>Não:</u> Defeito ocorrido em alguma porção entre as ETAPAS 1 e 3</p> | |
| <p><u>Testar se há tensão na entrada da ETAPA 3 (primário do transformador).</u></p> <p><u>Sim :</u> Defeito ocorrido na ETAPA 3 (transformador). Testar continuidade das bobinas do transformador com um ohmímetro.</p> <p><u>Não:</u> Defeito ocorrido nas ETAPAS 1 ou 2.</p> | |
| <p><u>Testar se há tensão na entrada da ETAPA 1.</u></p> <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.</p> <p><u>Não:</u> Testar cabo, plugue e verificar se há energia na tomada onde a fonte está sendo conectada.</p> | |
| <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.

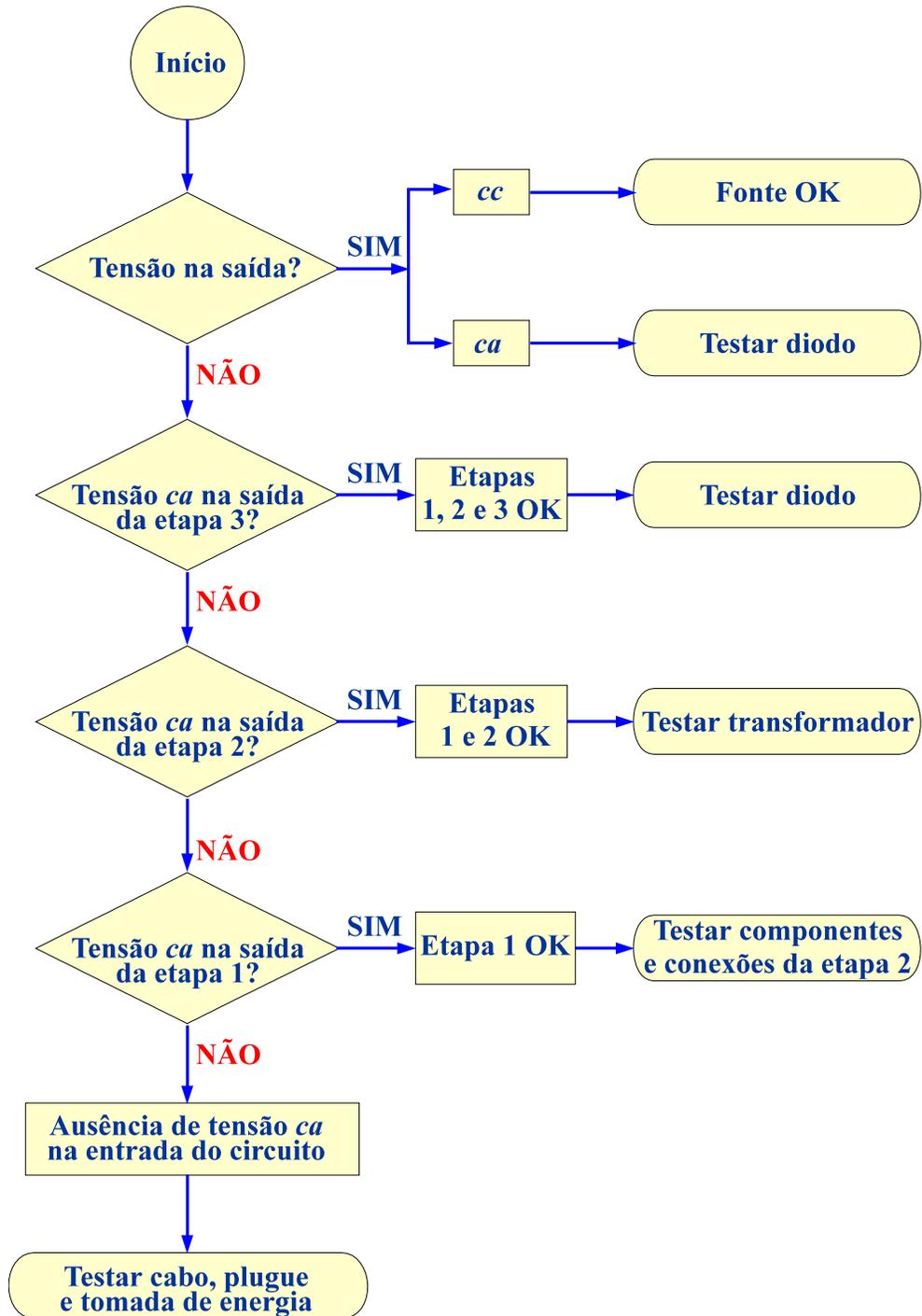


Fig.15 Fluxograma auxiliar para o diagnóstico de defeitos em um circuito retificador de meia onda.

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.