

Reguladores de Tensão

Diodo Zener - Introdução

O diodo zener é um diodo de silício que o fabricante otimizou para operar na região de ruptura. O diodo zener é o elemento principal dos reguladores de tensão, circuitos que mantêm a tensão na carga quase constante, independentemente da alta variação na tensão de linha e na resistência de carga.

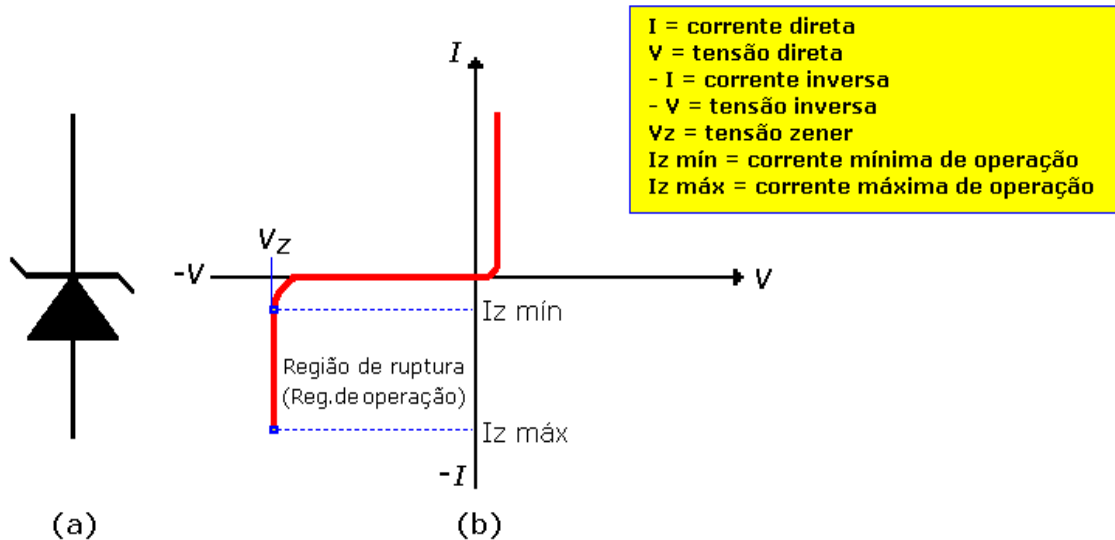


Figura 1 - Diodo Zener: (a) Símbolo; (b) curva do diodo.

Símbolo e encapsulamento

O símbolo do diodo zener com representação dos terminais é mostrado na figura abaixo. O nome dos terminais é o mesmo do diodo convencional: anodo e catodo. Normalmente o zener possui dimensões reduzidas, tem também uma faixa de identificação do catodo. Geralmente é apresentado em encapsulamento de vidro.

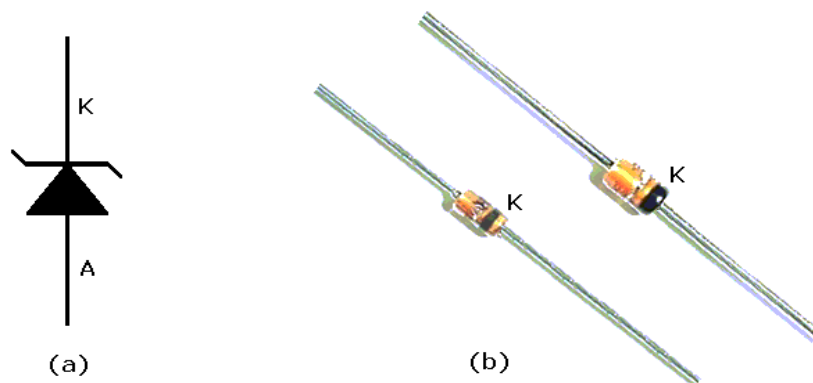


Figura 2 - Diodo Zener: (a) Símbolo (b) Encapsulamento

Funcionamento

O diodo zener é originado de forma a possuir, pelo processo de dopagem, uma tensão de ruptura bem mais baixa que o diodo convencional. Esta tensão é chamada de tensão zener.

A tensão zener aparece quando o diodo estiver polarizado inversamente. Diretamente ele se comporta como um diodo convencional de silício apresentando uma tensão por volta de 0,7 V.

Quando o zener está operando na região de ruptura a tensão apresenta uma pequena variação em função da corrente, isso permite representar o zener como uma fonte igual a V_Z e uma resistência em série R_Z . O valor desta resistência é pequena ficando ao redor de 5 Ohm.

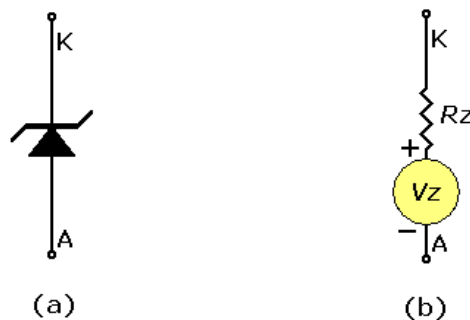


Figura 3 - Diodo Zener: (a) Símbolo (b) Circuito equivalente ao zener polarizado inversamente

Circuito teste para diodo zener

A figura abaixo apresenta um circuito de um testador de zener de baixa tensão com auxílio do multímetro e uma fonte CC variável.

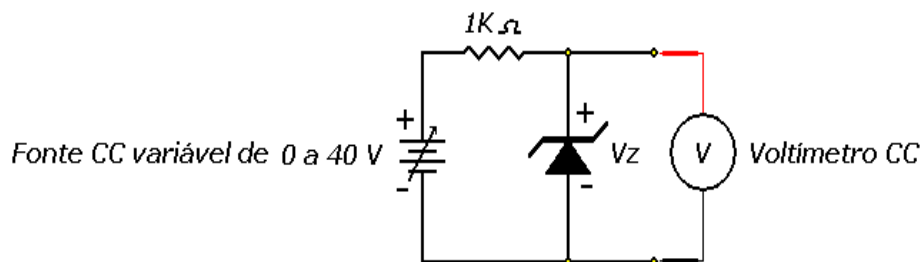


Figura 4 - Circuito para teste de Zener

Regulador de Tensão

Um diodo zener às vezes também é chamado de diodo **regulador de tensão**, por que ele mantém uma tensão na saída constante, embora a corrente nele varie. Para uma operação normal o zener deve ser polarizado inversamente conforme mostra a figura abaixo.

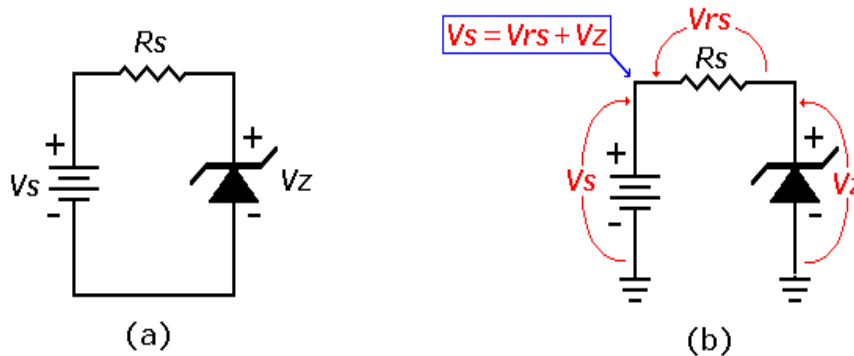


Figura 5 - Regulador Zener: (a) Zener inversamente polarizado; (b) Modo alternativo de desenhar o circuito.

Como trata-se de um circuito em série, obtendo-se a corrente no resistor em série (R_s), obtém-se também a corrente no Zener.

Valores máximo e mínimo

Suponha que o diodo zener da figura abaixo tenha uma tensão de ruptura de 10 V. Quais são os valores máximo e mínimo da corrente no Zener?

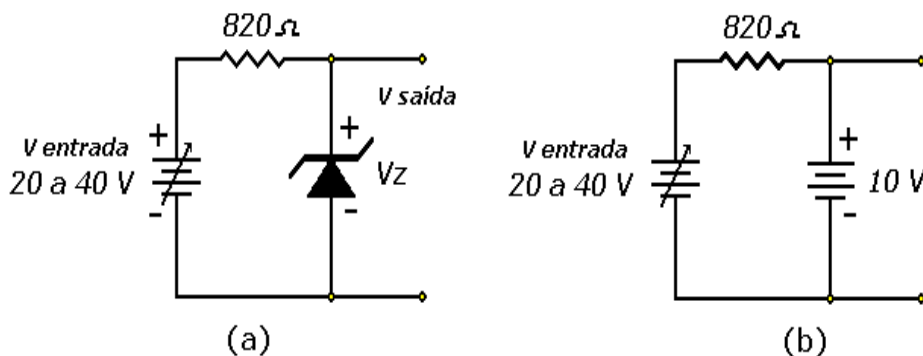


Figura 6 - Regulador Zener

A corrente mínima ocorre quando a tensão na fonte é mínima. Logo a tensão no resistor série é de 20-10 V. Usando a Lei de Ohm, a corrente no resistor é **$I_S \text{ mín} = 10 \text{ V} / 820 \text{ Ohm} = 12,2 \text{ mA}$** ;

A corrente máxima ocorre quando a tensão na fonte é de 40 V. Nesse caso, a tensão no resistor é de 40-10 V, o que produz uma corrente de **$I_S \text{ máx} = 30 \text{ V} / 820 \text{ Ohm} = 36,6 \text{ mA}$** .

Corrente no Zener

Assumindo que o diodo zener está operando na região de ruptura, a corrente no resistor série é dada por: $IS = VL - VZ / RS$

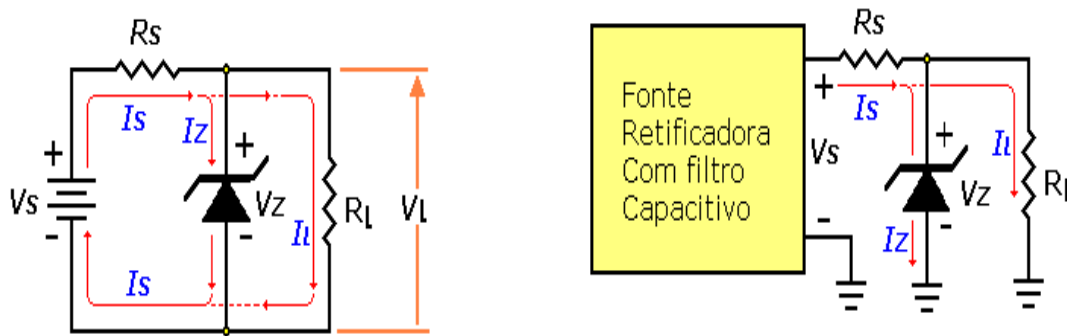


Figura 7 - Regulador Zener

Corrente na Carga - Como a carga está em paralelo com o diodo, idealmente, a tensão na carga é igual a tensão zener $VL = VZ$. Isso nos permite usar a Lei de Ohm para calcular a corrente na carga: $IL = VZ / RL$.

Corrente no Zener - Pela 1ª Lei de Kirchoff (Lei das Correntes ou Lei dos Nós), $IS = IZ + IL$, assim, podemos expressar a corrente no diodo zener, como: $IZ = IS - IL$

A corrente no Zener já não é mais igual à corrente no resistor em série, como no caso do regulador Zener sem carga, visto na tela antes.

Fonte de alimentação CC

A figura abaixo apresenta a saída de um circuito Retificador de Meia Onda acoplada a um Regulador de Tensão a diodo Zener.

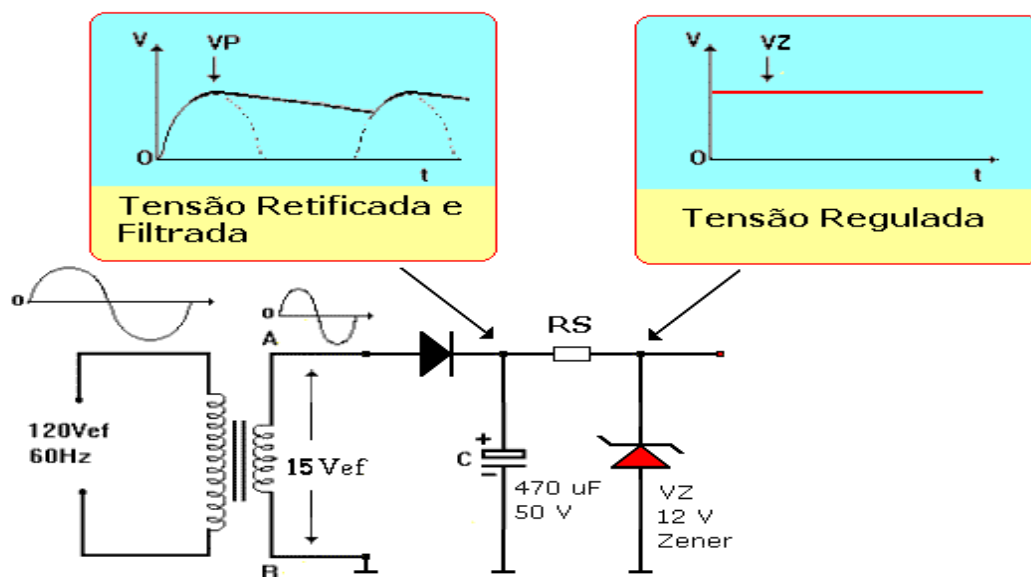


Figura 8 - Circuito Retificador com Regulador Zener

Saída da Fonte CC

A figura abaixo representa a saída de uma Fonte CC antes do regulador de tensão zener. Neste gráfico enfatizamos as tensões: V_{\min} , V_{cc} , V_{\max} e a tensão de ripple pico-a-pico.

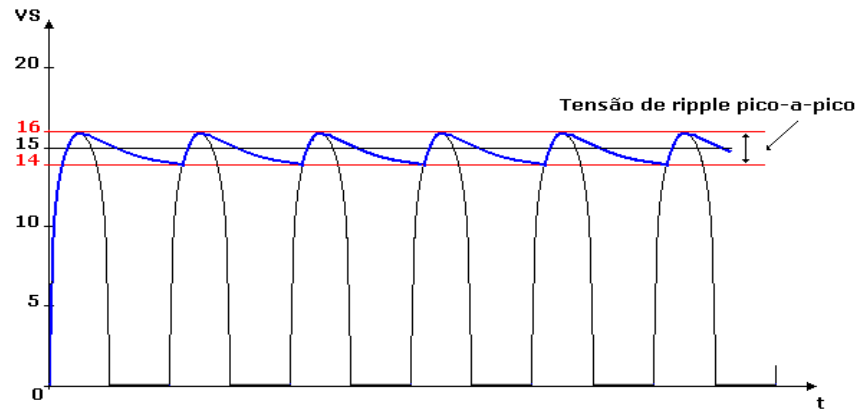


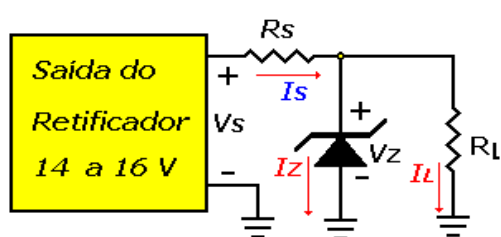
Figura 9 - Forma de onda na saída de um retificador de meia onda

Cálculo do resistor série - R_S

Uma corrente I_L muito pequena, provoca uma sobrecorrente no resistor R_S e no Zener, com risco de destruir um destes componentes por superaquecimento. Por outro lado se a corrente solicitada pela carga R_L for muito elevada deixará o zener fora da faixa de regulação.

O bom funcionamento do regulador zener depende do valor do resistor série R_S e da resistência de carga R_L para prover um valor de corrente entre I_Z máx e I_Z mín, que permita ao diodo zener operar na região ativa com segurança.

Para cálculo do resistor série R_S , consideremos o seguinte circuito com os respectivos dados:



Dados:

V_S de 14 a 16 V
 $V_Z = 12$ V
 I_Z mín = 5 mA
 I_Z máx = 60 mA
 $R_L = 1$ K

$I_L = V_Z / R_L = 12$ V / 1K = 12 mA

Solução:

$$\bullet R_S \text{ mín} = \frac{V_S - V_Z}{I_Z \text{ máx}} = \frac{15 - 12 \text{ V}}{60 \text{ mA}} = \frac{3 \text{ V}}{60 \text{ mA}} = 0,05 \text{ K}$$

$$R_S \text{ mín} = 50 \text{ Ohm}$$

$$\bullet R_S \text{ máx} = \frac{V_S - V_Z}{I_Z \text{ mín} + I_{RL}} = \frac{15 - 12 \text{ V}}{5 + 12 \text{ mA}} = \frac{3 \text{ V}}{17 \text{ mA}}$$

$$R_S \text{ máx} = 0,176 \text{ k} \rightarrow R_S \text{ máx} = 176 \text{ Ohm}$$

$$\bullet R_S \text{ adotado} = R_S \text{ mín} + R_S \text{ máx} / 2$$

$$50 + 176 / 2 = 226 / 2 = 113 \text{ Ohm}$$

$$\text{Valor comercial próximo} = 120 \text{ Ohm}$$

Figura 10 - Cálculo de R_S

Testando o zener para o circuito

Para verificarmos se o zener está operando na região de ruptura (estado ligado), a condição essencial é que a tensão de saída do circuito (V) na ausência do zener, ou seja, com o zener em aberto seja maior ou igual a tensão nominal (VZ) do zener escolhido.

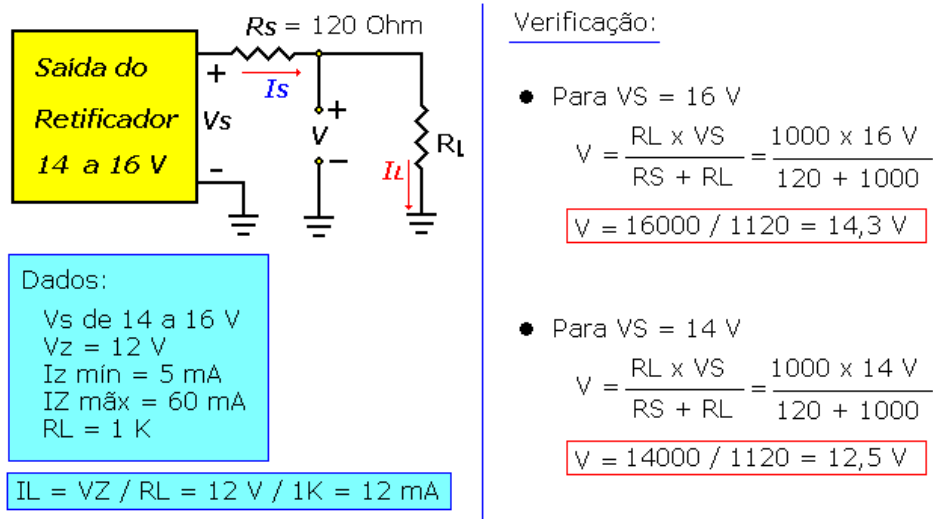


Figura 11 - Testando o zener para o circuito

Regulador com Diodo Zener e Transistor

O diagrama mostra um circuito regulador zener convencional com um transistor em série com a carga. O diodo zener tem a função de estabilizar a tensão fixando a tensão de saída e o transistor tem a função de reforçar a corrente na carga R_L .

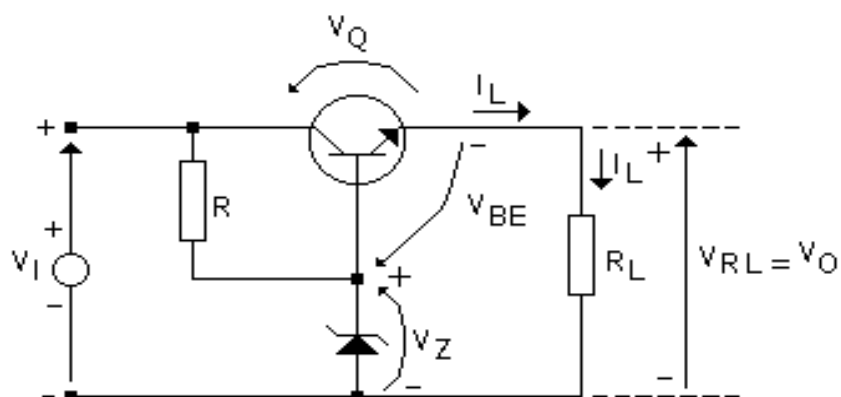


Figura 12 - Circuito Regulador Zener

Análise das malhas para determinar a tensão de saída

1. A tensão de saída (V_o) é fixada pelo Zener, e a corrente na carga (I_L) é reforçada pelo transistor.
2. Entre os limites $I_{Zmín}$ e $I_{Zmáx}$ a tensão de saída (V_o) é fixa mesmo que a tensão de entrada (V_i) varie.
3. Quem absorve o excesso da tensão, (V_Q) é o transistor, de modo que podemos considerar o transistor como uma resistência variável, onde $V_o = V_i - V_Q$. Portanto, se V_i aumenta V_Q também aumenta e V_o permanece constante.

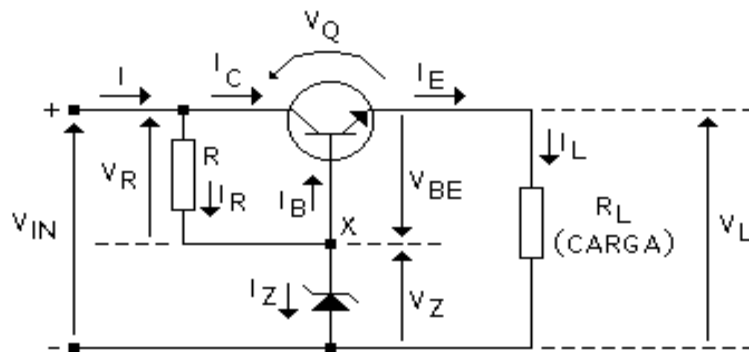


Figura 13 - Circuito Regulador Zener

Diagrama em blocos de uma fonte de alimentação com saída regulada.

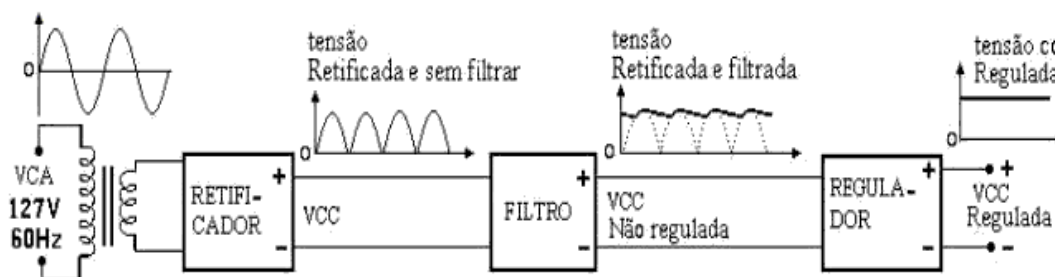


Figura 14 - Diagrama em Blocos de uma Fonte de Alimentação

Fonte de alimentação regulada com uma tensão de +5V na saída.

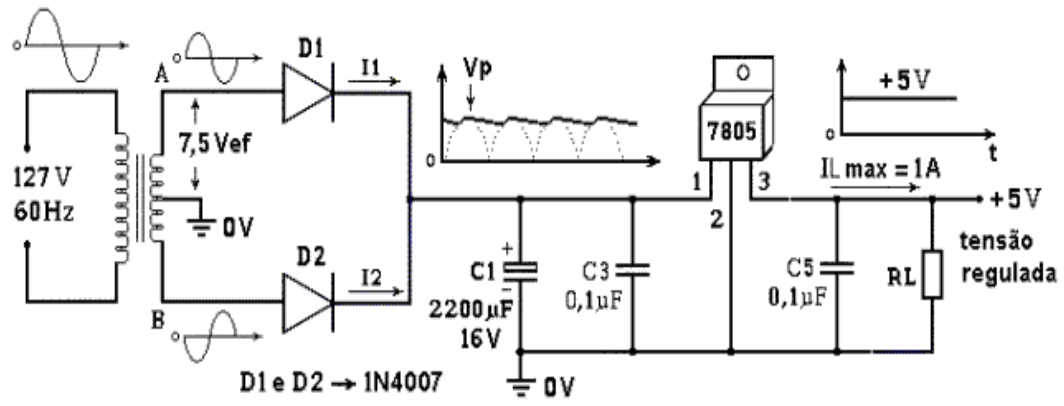


Figura 15 - Fonte regulada de +5V

Fonte de alimentação regulada com uma tensão de +12V na saída.

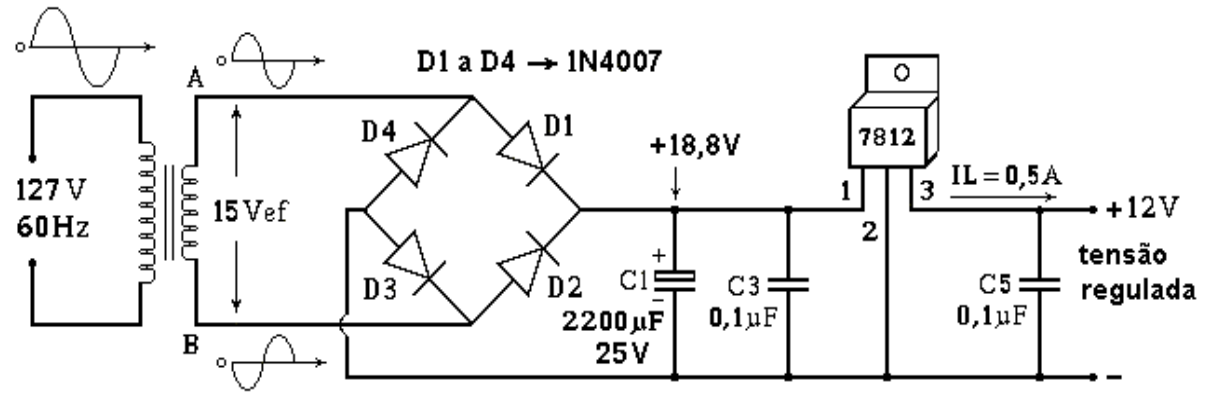


Figura 16 - Fonte regulada de +12V

Fonte de alimentação simétrica com tensão de saída não regulada.

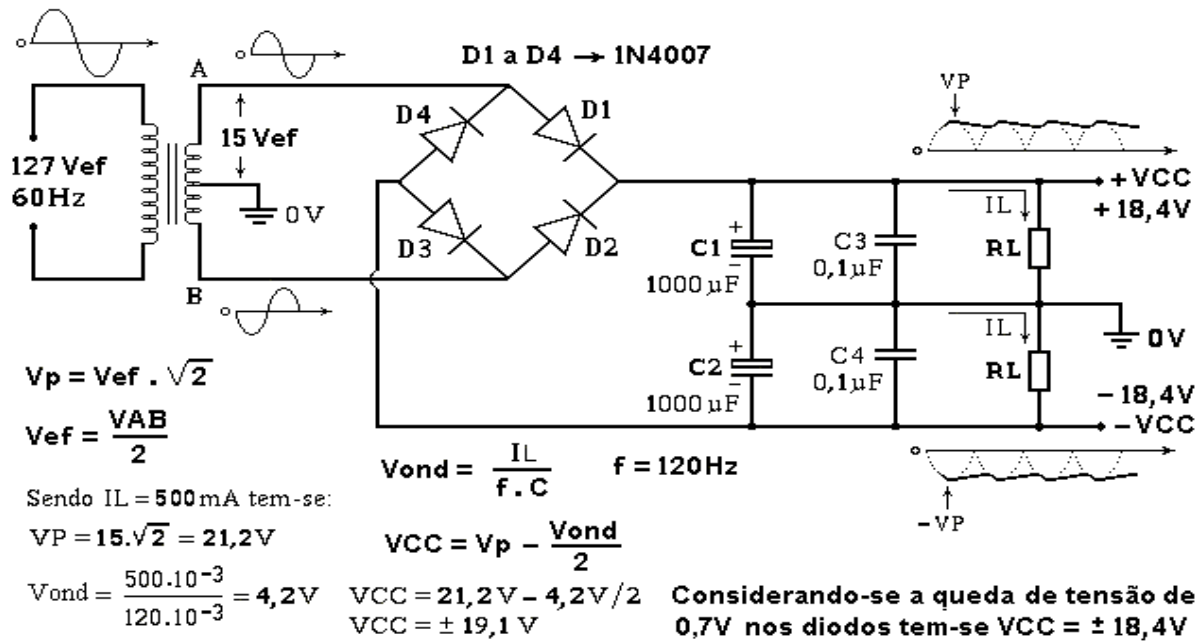


Figura 17 - Fonte simétrica simples

Fonte de alimentação simétrica com tensão de saída regulada.

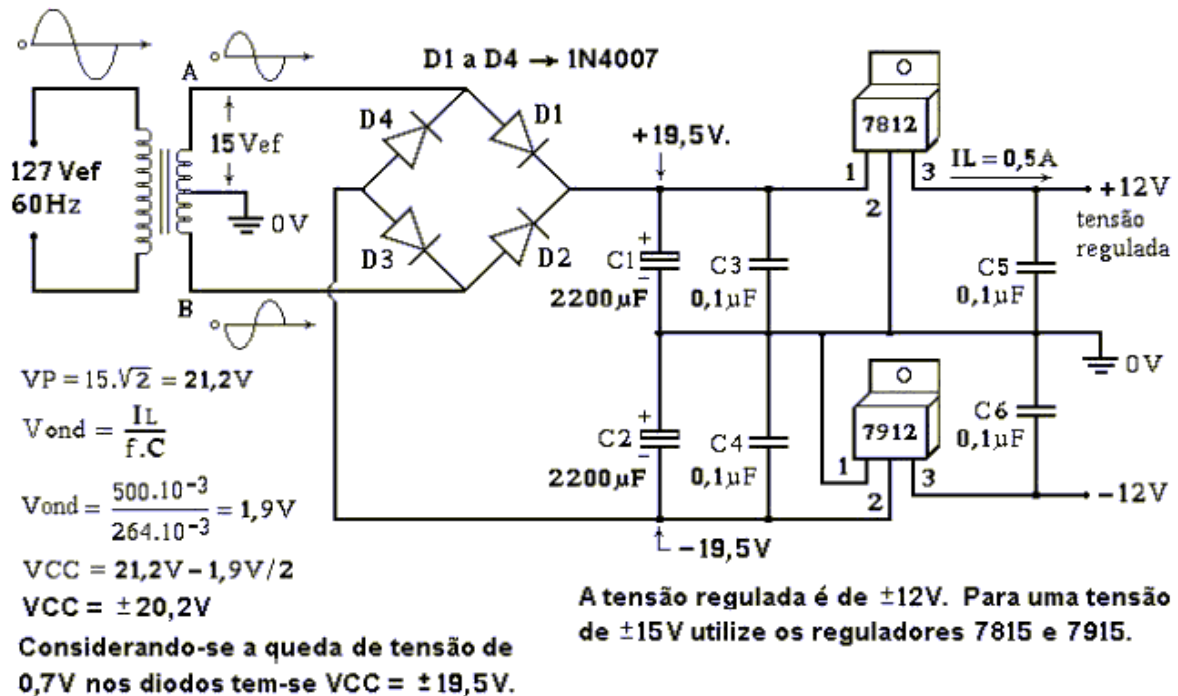
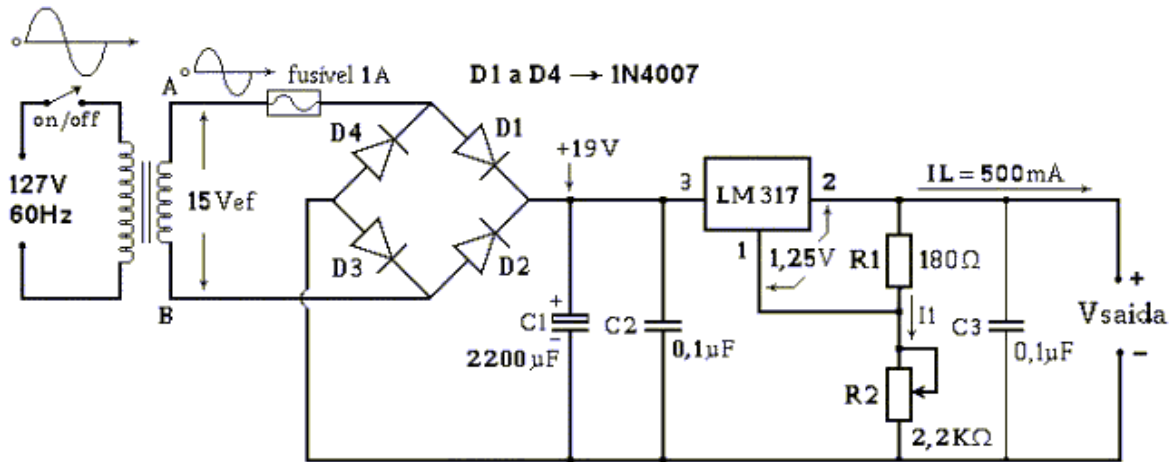


Figura 18 - Fonte simétrica regulada

Fonte regulada com saída ajustável de 1,25V a 16,5V com CI LM317.



$$V_{saída} = I_1 \cdot R_1 + I_1 \cdot R_2 \quad I_1 = 1,25V / R_1$$

$$V_{saída} = \frac{1,25V}{R_1} \cdot R_1 + \frac{1,25V}{R_1} \cdot R_2 = 1,25 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$V_{saída} = 1,25 \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right)$$

$$V_{saída} = 1,25V \text{ a } 16,5V$$



- 1 → Ajuste da tensão de saída
 - 2 → Saída de tensão regulada
 - 3 → Entrada de tensão → $3V \leq (V_{ent} - V_{saída}) \leq 40V$
Tensão diferencial entrada-saída máxima = 40V
- Potência máxima dissipada = 15W → $PD = (V_{ent} - V_{saída}) \cdot I_L$
Corrente máxima de saída = 1,5A

Figura 19 - Fonte ajustável

Formas de onda na saída - filtragem em meia onda e onda completa.

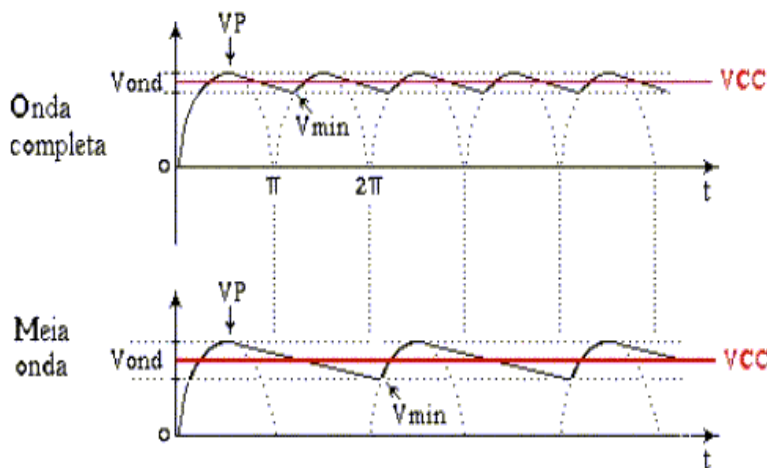


Figura 20 - Retificação e Filtragem

Encapsulamento e pinagem - circuitos integrados (CI) estabilizadores

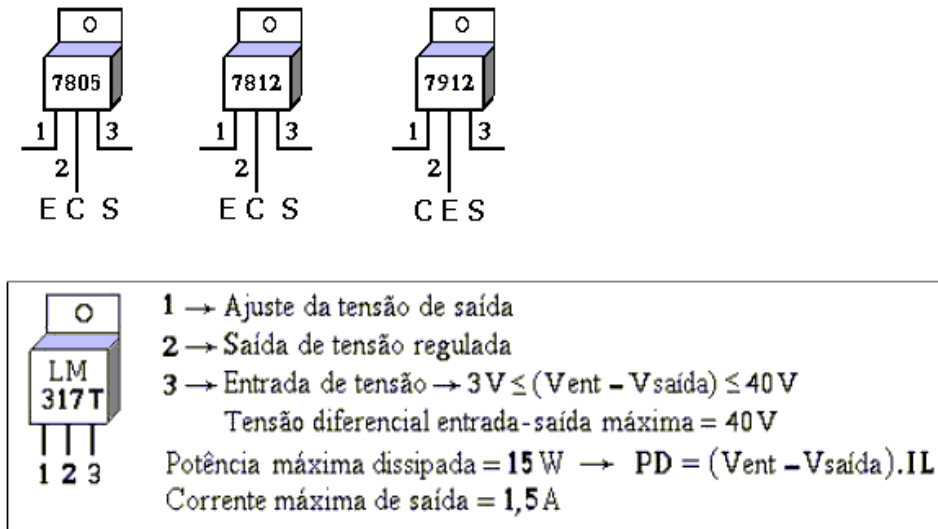


Figura 21 - Encapsulamento e pinagem

Ponte retificadora

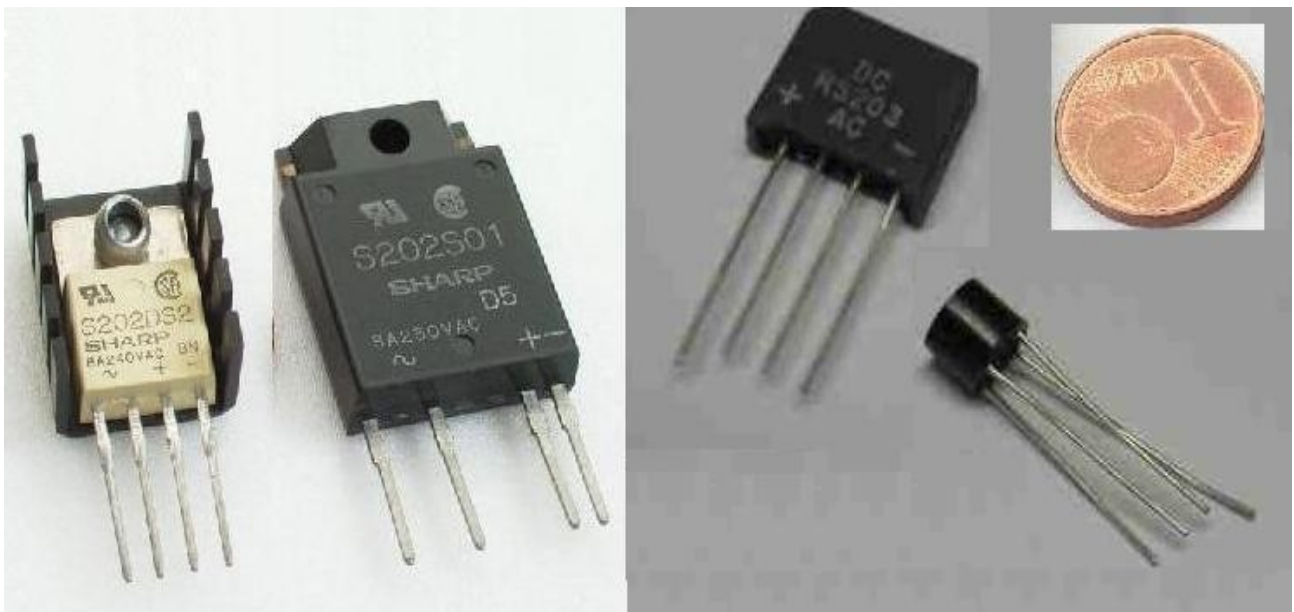


Figura 22 - Ponte retificadora

Regulador de tensão

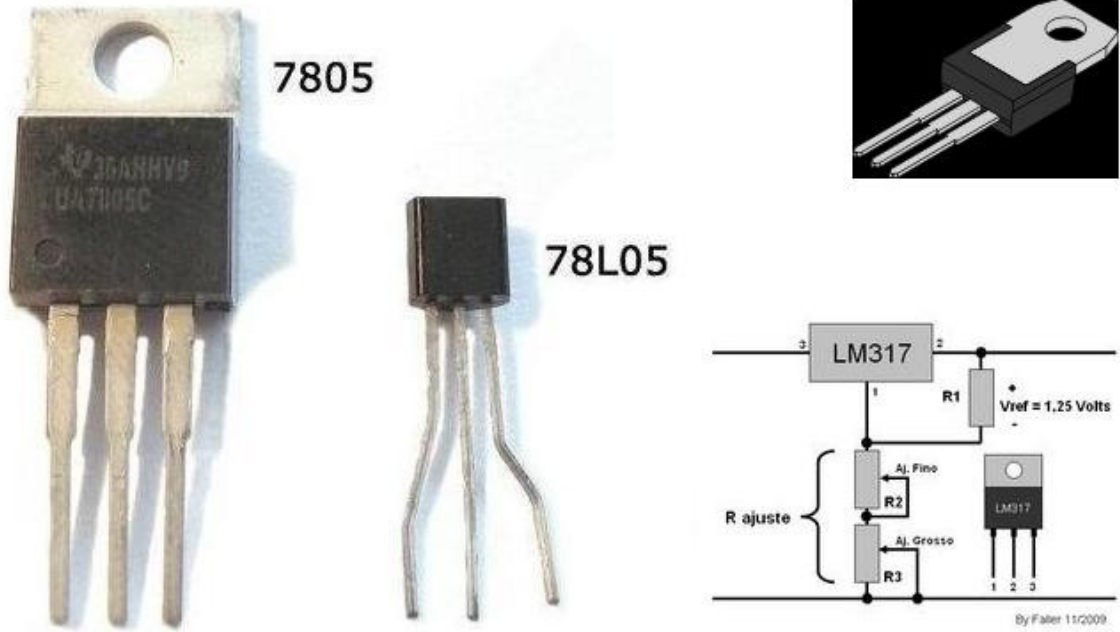


Figura 23 - Regulador de tensão

Dissipador de calor

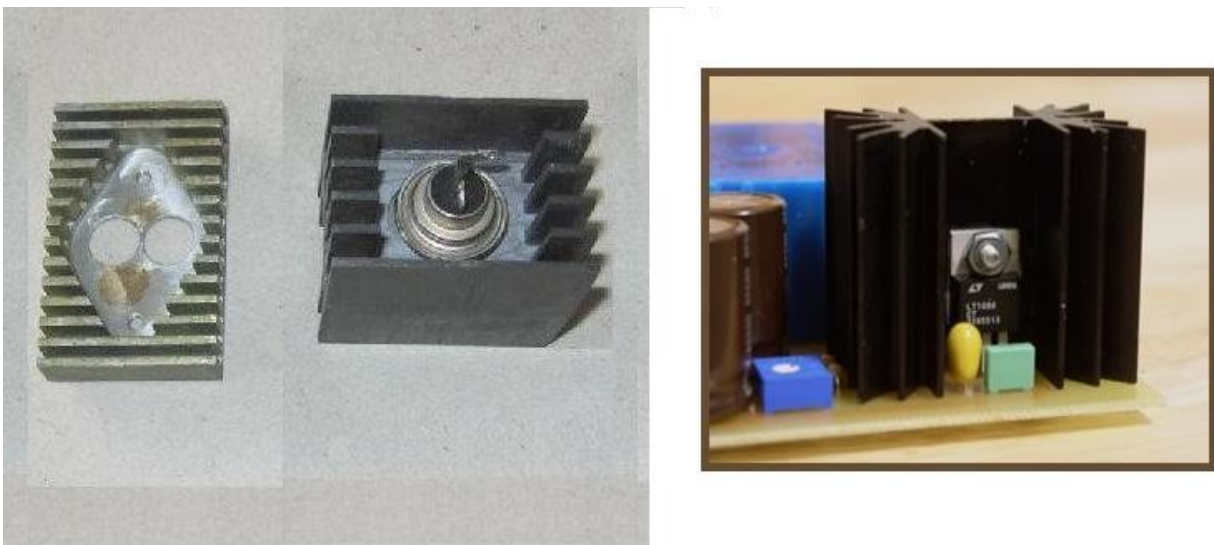


Figura 24 - Dissipador de calor

Referências

ALMEIDA, Antonio Carlos; *Notas de aulas de Eletrônica, Eletrotécnica e Instalações Elétricas*. SENAI/CEFET-BA, 1978 - 2008

BOYLESTAD, Robert L, NASHELSKY - Tradução: Rafael Monteiro Simon; *Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos*. São Paulo - SP, Prentice Hall

BROPHY, James J.; *Eletrônica Básica*. Rio de Janeiro - RJ, Editora Guanabara Dois S.A.

COTRIM, Ademaro A. M. B.; *Instalações Elétricas*. São Paulo - SP, Prentice Hall

CREDER, Hélio; *Instalações Elétricas*. Rio de Janeiro - RJ, LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.

FIGINI, Gianfranco - tradução: Carlos Antonio Lauand; *Eletrônica Industrial: Circuitos e Aplicações*. São Paulo - SP, Hemus Editora Limitada

MALVINO, Albert Paul - tradução: Romeu Abdo; *Eletrônica: volume 1*. São Paulo - SP, Makron Books

KAUFMAN, Milton & WILSON J. A.; *Eletrônica Básica*. São Paulo - SP, McGraw-Hill do Brasil

Internet - http://ivairsouza.com/circuitos_retificadores.html

Essa apresentação encontra-se em "Almeida Home Page" - www.almhpg.com
no link: Downloads → Apostilas → Reguladores de Tensão