

## **Sumário**

<b>Introdução</b>	<b>5</b>
<b>O diodo Zener como regulador de tensão</b>	<b>6</b>
<b>Funcionamento do circuito regulador</b>	<b>7</b>
<b>Variações no nível de tensão de entrada</b>	<b>8</b>
<b>Variação na corrente de carga</b>	<b>11</b>
<b>Variações no nível de tensão de entrada e na corrente de carga</b>	<b>13</b>
<b>Fonte de alimentação com tensão de saída regulada a diodo Zener</b>	<b>14</b>
<b>Apêndice</b>	<b>16</b>
<b>Questionário</b>	<b>16</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>16</b>



**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

---

A maior aplicação do diodo Zener reside na regulação de tensão de saída de fontes de alimentação. Através da utilização do diodo Zener, em conjunto com um resistor, pode-se conseguir que uma fonte de alimentação forneça tensão praticamente constante à carga.

Este fascículo faz uma descrição do princípio de funcionamento de um circuito regulador de tensão com diodo Zener, fornecendo informações indispensáveis para que o leitor adquira o conhecimento necessário à montagem, reparo e teste de fontes de *cc* reguladas.

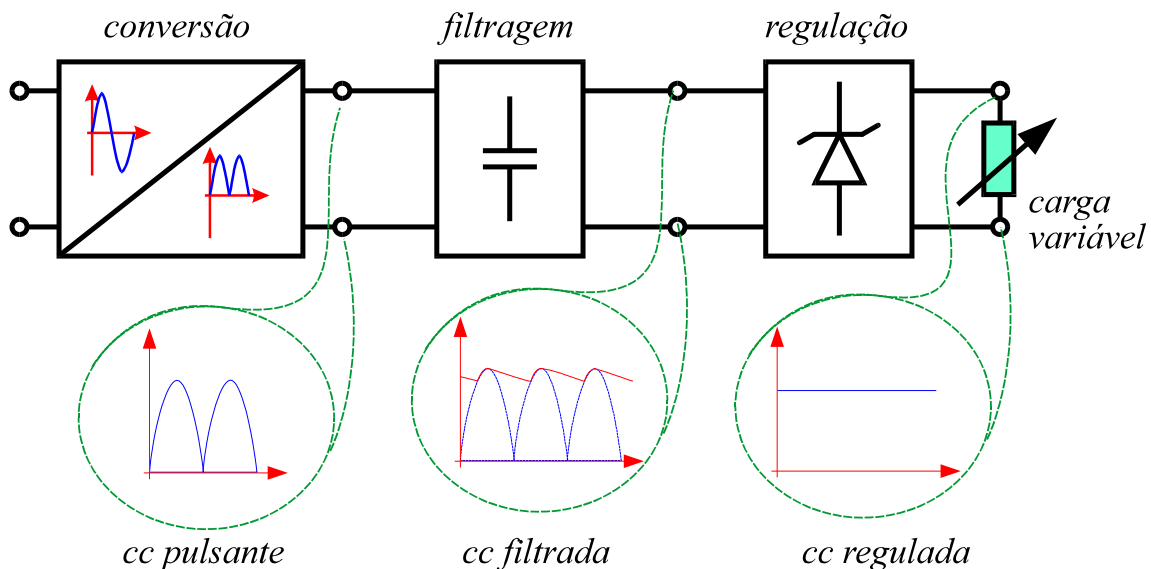


***Para a boa compreensão do conteúdo e desenvolvimento das atividades contidas neste fascículo, o leitor deverá estar familiarizado com os conceitos relativos a:***

- Diodo Zener.

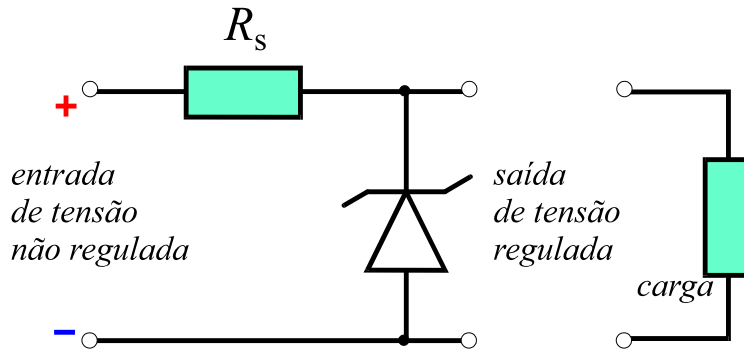
# O diodo Zener como regulador de tensão

O comportamento do diodo Zener na região de ruptura permite a montagem de circuitos reguladores de tensão, a partir de fontes que forneçam tensões onduladas, incluindo situações em que a carga apresente um consumo variável. Um diagrama representativo de um circuito regulador de tensão a diodo Zener na saída de uma fonte de alimentação é ilustrado na **Fig.1**.



**Fig.1** Diagrama de blocos e formas de onda associadas aos três estágios de uma fonte de alimentação regulada a diodo Zener.

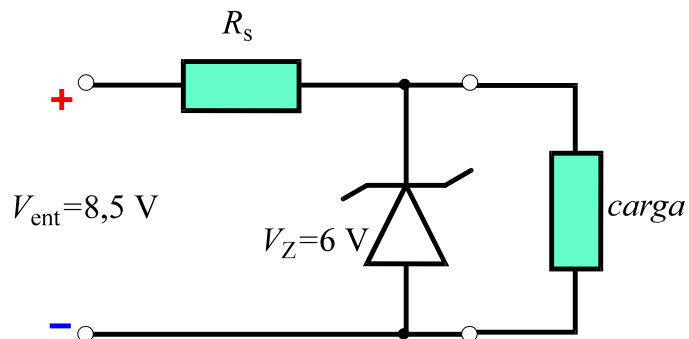
Para que o diodo Zener opere adequadamente como regulador de tensão é necessário introduzir um resistor que limite a corrente inversa através do diodo a um nível inferior ao valor máximo especificado pelo fabricante, conforme indicado na **Fig.2**. Como pode ser aí observado, o diodo deve ser conectado em paralelo com a carga, que fica assim submetida à mesma tensão existente entre os terminais do Zener.



**Fig.2** Diagrama de um circuito regulador a diodo Zener, com um resistor limitador de corrente.

## FUNCIONAMENTO DO CIRCUITO REGULADOR

O circuito regulador com diodo Zener deve ser alimentado na entrada com uma tensão pelo menos 40% superior ao valor da tensão Zener, para que possa efetuar adequadamente a regulação. Por exemplo, se a tensão regulada for especificada com um valor de 6V o circuito regulador deve utilizar um diodo Zener com  $V_Z = 6V$  e ser alimentado com uma tensão de entrada de pelo menos 8,5V, como mostra a **Fig.3**.



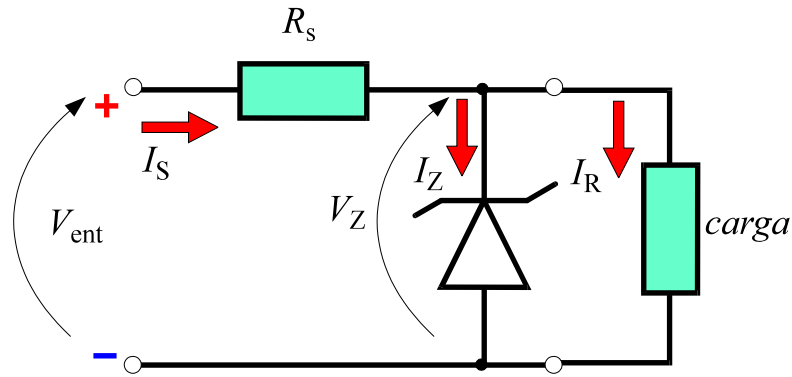
**Fig.3** Um possível diagrama de circuito para obtenção de uma saída regulada de 6V.

Com base no diagrama de circuito mostrado na **Fig.4**, a corrente através do resistor limitador é dada pela soma

$$I_s = I_z + I_R \quad (1)$$

onde:

- $I_s$  = corrente através do resistor  $R_s$ ;
- $I_z$  = corrente inversa no diodo Zener;
- $I_R$  = corrente de carga.



**Fig.4** Correntes através dos elementos do circuito da **Fig.3**.

Com o diodo Zener operando na região de ruptura, a corrente através do resistor limitador é tal que a queda de tensão se torna

$$V_s = V_{ent} - V_z \quad (2)$$

onde:

- $V_s$  = queda de tensão no resistor limitador.
- $V_{ent}$  = tensão de entrada.

Existem três possibilidades de variação nas condições de operação da fonte regulada:

- Variações no nível de tensão de entrada.
- Variações na corrente de carga.
- Variações no nível de tensão de entrada e na corrente de carga.

A operação do circuito regulador mediante essas condições é analisada a seguir.

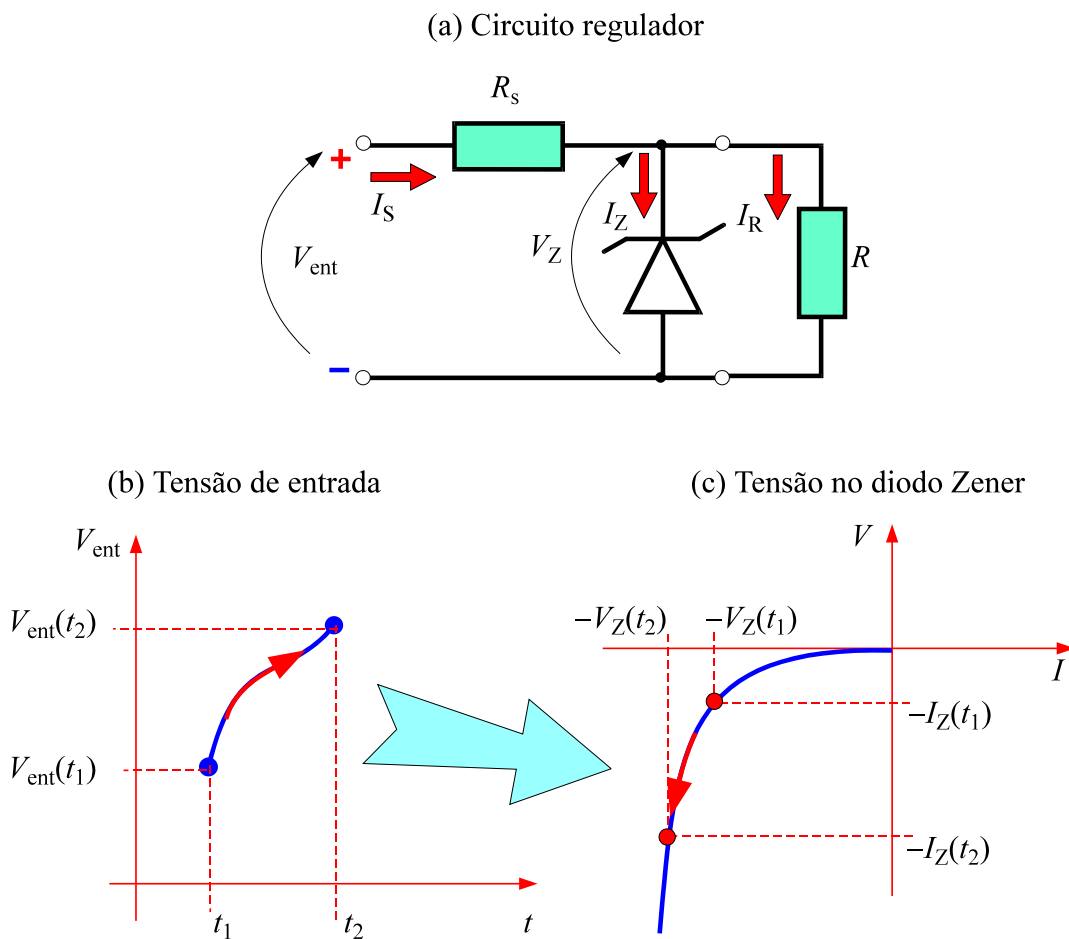
## VARIAÇÕES NO NÍVEL DE TENSÃO DE ENTRADA

Esta situação é muito comum em circuitos eletrônicos alimentados pela rede elétrica *ca*, como resultado da ondulação na tensão *cc* obtida a partir do processo de retificação com ou sem filtro capacitivo de saída. O comportamento do circuito regulador operando sob estas condições é discutido a seguir.

## Acréscimo no nível de tensão de entrada

Quando ocorre um acréscimo no nível da tensão de entrada, esse aumento normalmente tenderia a ser transferido diretamente para a carga. Entretanto, o diodo Zener estando em paralelo com a carga mantém a tensão de saída constante.

A **Fig.5a** mostra o circuito regulador submetido a um acréscimo na tensão de entrada que varia de um valor  $V_{ent}(t_1)$  até um valor  $V_{ent}(t_2)$  entre os instantes de tempo  $t_1$  e  $t_2$ , de acordo com o gráfico da **Fig.5b**. A este aumento de tensão deve corresponder um aumento de corrente no circuito.



**Fig.5 (a)** Circuito regulador a diodo Zener, com o gráfico ilustrativo do aumento na tensão de entrada em **(b)** e o aumento correspondente na corrente através do diodo em **(c)**.

O aumento de corrente no circuito ocorre exclusivamente através do diodo Zener, conforme se pode verificar a partir da curva característica mostrada na **Fig.5c**. Como pode ser aí observado, a corrente através do diodo que no instante

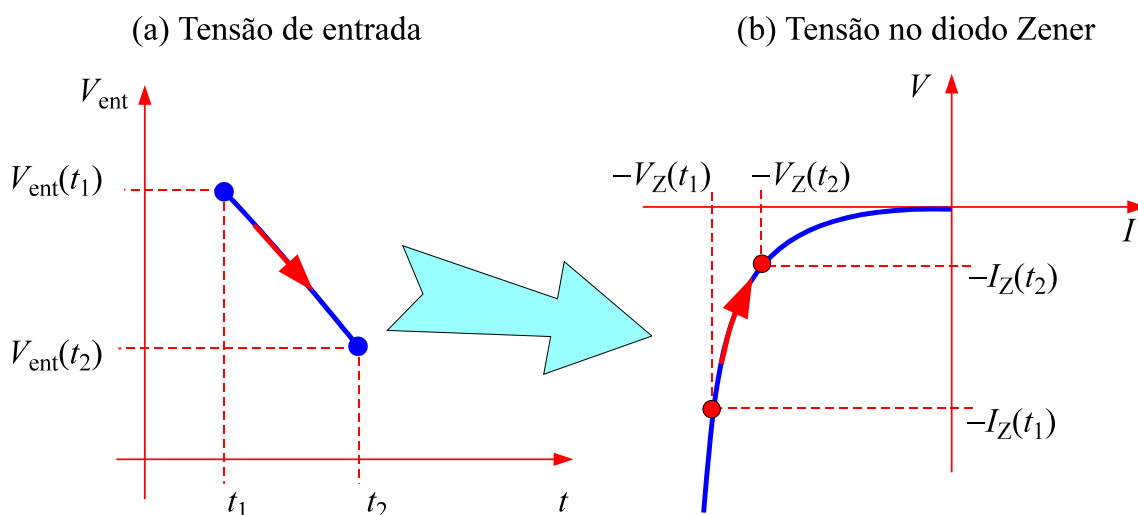
$t_1$  valia  $I_z(t_1)$ , aumenta para um valor  $I_z(t_2)$ . Isso faz que a tensão através do diodo aumente do valor  $V_z(t_1)$  para o valor  $V_z(t_2)$ . No entanto, como a região de ruptura na curva característica é praticamente vertical, a variação na tensão Zener é muito pequena, fazendo que a tensão na carga permaneça praticamente constante.

Pela Eq.(1), um aumento no valor da corrente  $I_z$  provoca um aumento na corrente  $I_s$  através do resistor limitador. Esse aumento de corrente provoca um aumento na queda de tensão  $V_s$  através do resistor. Como a tensão Zener se mantém praticamente constante, conclui-se que o aumento no valor da tensão de entrada é totalmente aplicado entre os terminais do resistor limitador.

### Decréscimo no nível de tensão de entrada

A Fig.6a mostra o gráfico da tensão de entrada quando esta diminui de um valor  $V_{ent}(t_1)$  até um valor  $V_{ent}(t_2)$ . Nessa situação a corrente no circuito tende a diminuir.

De acordo com o que foi discutido anteriormente, essa variação de corrente ocorre exclusivamente através do diodo Zener, conforme se pode verificar a partir de um exame da curva característica mostrada na Fig.6b. A queda de tensão através do diodo, e por conseqüência através da carga, sofre um decréscimo praticamente desprezível devido à característica vertical da curva da Fig.6b na região de ruptura.



**Fig.6** (a) Gráfico ilustrativo do decréscimo da tensão de entrada provocando um decréscimo correspondente na corrente através do diodo Zener em (b).



Como a tensão Zener se mantém praticamente constante, conclui-se que o decréscimo no nível da tensão de entrada é totalmente aplicado entre os terminais do resistor limitador.

A partir dessa análise pode-se extrair a seguinte conclusão, ilustrada diagramaticamente na Fig.7:

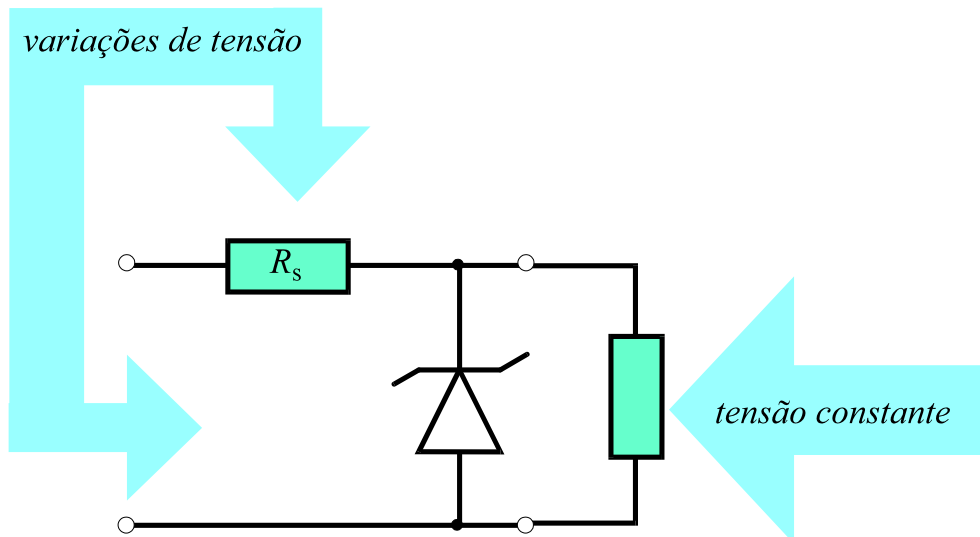


Fig.7 Comportamento do circuito regulador mediante variações no nível de tensão de entrada.



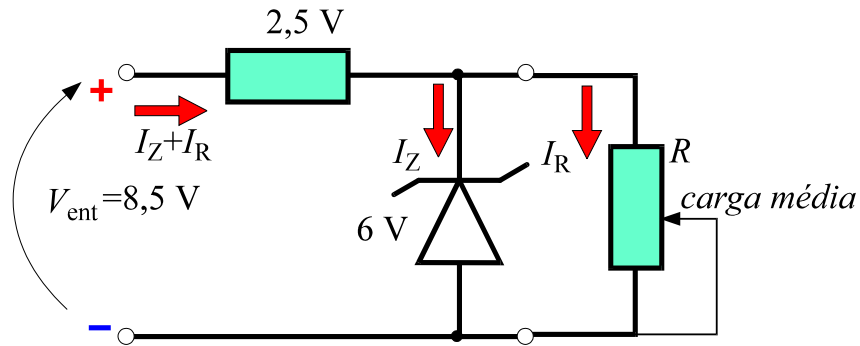
**Qualquer variação no nível da tensão de entrada é diretamente transferida para o resistor limitador. A variação de corrente no resistor limitador ocorre exclusivamente devido à variação de corrente através do diodo Zener, que dessa forma mantém a tensão e a corrente na carga constantes.**

## VARIAÇÃO NA CORRENTE DE CARGA

Devido à característica não ideal dos filtros capacitivos, a tensão de ondulação na saída de uma fonte retificadora é influenciada pelo valor da corrente consumida pela carga.

O diodo Zener, quando utilizado em um circuito regulador, possibilita que a tensão de saída permaneça praticamente invariável independentemente do consumo de corrente pela carga.

Para o circuito representado na **Fig.8**, admitindo-se que a tensão de entrada seja constante e que o diodo Zener esteja operando na região de ruptura, a **Eq.(2)** indica que a queda de tensão sobre o resistor limitador é constante.



**Fig.8** Circuito regulado a diodo Zener.

A corrente através do resistor limitador pode ser obtida da expressão

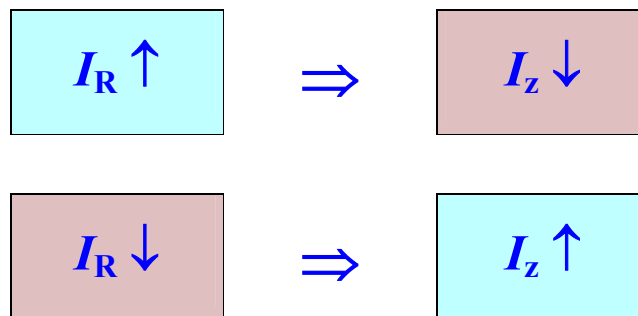
$$I_s = \frac{V_{ent} - V_z}{R_s} \quad (3)$$

com o numerador da **Eq.(3)** representando a queda de tensão no resistor  $R_s$ . Dessa forma, a corrente  $I_s$  permanece constante.

Da **Eq.(1)**, reproduzida a seguir,

$$I_s = I_z + I_R \quad (1)$$

nota-se que, como a soma das correntes no segundo membro é constante, então:



A partir das relações representadas no diagrama anterior pode-se extrair a seguinte conclusão:



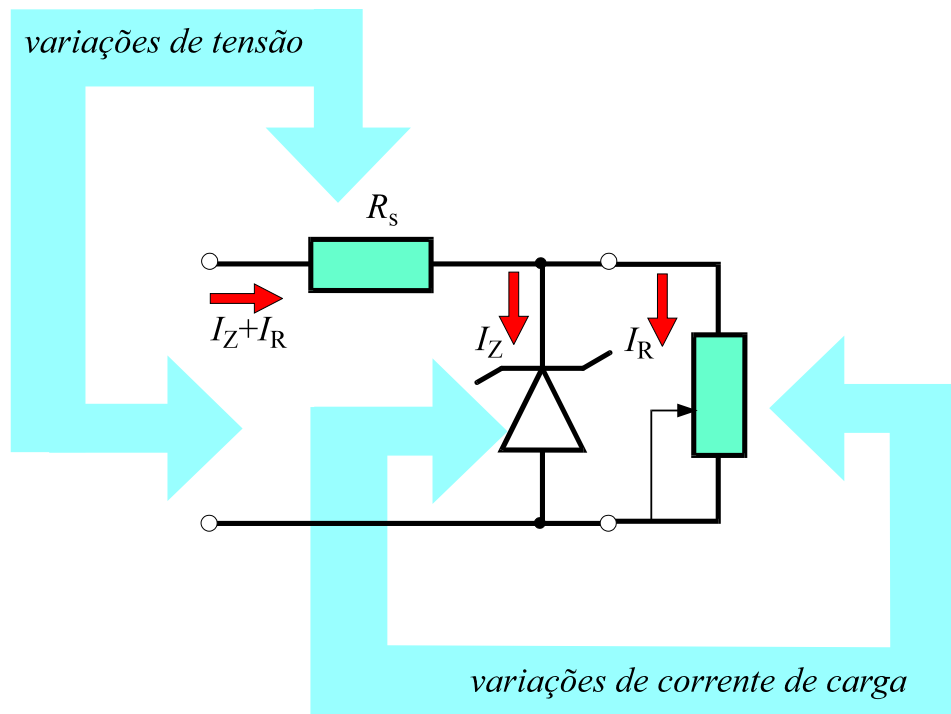
*Para uma tensão de entrada constante, qualquer variação na corrente através da carga é compensada por uma variação oposta na corrente através do diodo Zener, de forma a manter a tensão na carga praticamente constante.*

## VARIAÇÕES NO NÍVEL DE TENSÃO DE ENTRADA E NA CORRENTE DE CARGA

Na maioria dos casos os circuitos reguladores estão sujeitos a variações simultâneas de tensão de entrada e de corrente de carga. Essas variações se traduzem como variações de tensão e corrente nos elementos do circuito regulador, que obedecem aos dois princípios seguintes:

- Variações na tensão de entrada são transferidas diretamente para o resistor limitador.
- Variações na corrente de carga são compensadas por variações opostas de corrente no diodo Zener.

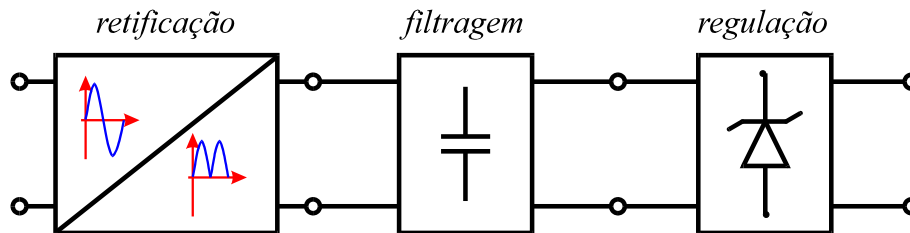
Esses dois princípios estão representados diagramaticamente na **Fig.9**.



**Fig.9** Comportamento de um circuito regulado a diodo Zener mediante variações nas condições de operação.

## FONTE DE ALIMENTAÇÃO COM TENSÃO DE SAÍDA REGULADA A DIODO ZENER

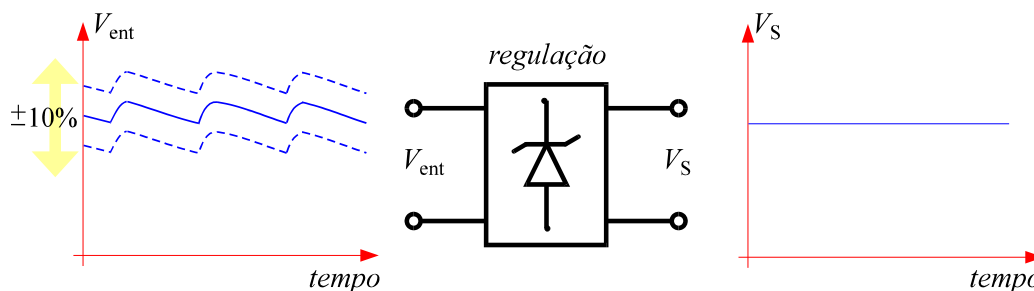
Uma fonte de alimentação com tensão de saída regulada a diodo Zener se compõe basicamente dos três blocos representados na **Fig.10**.



**Fig.10** Diagrama de blocos representativo de uma fonte de alimentação regulada a diodo Zener.

Os blocos do diagrama da **Fig.10** realizam as seguintes funções:

- **Retificação:** A tensão *ca* da rede elétrica é transformada em *cc* pulsada.
- **Filtragem:** A tensão *cc* pulsada é filtrada, fornecendo uma saída ondulada próxima à tensão *cc* ideal.
- **Regulação:** A tensão *cc* ondulada é transformada em uma tensão *cc* praticamente constante, como mostrado na **Fig.11**.



**Fig.11** Efeito do bloco regulador sobre a forma de tensão ondulada existente na saída do filtro de um circuito retificador.

A **Fig.12** ilustra o aspecto de uma placa de circuito impresso configurada para implementação de uma fonte *cc* com tensão de saída regulada a diodo Zener, e os blocos correspondentes ao diagrama da **Fig.10**. O reparo ou teste de um circuito desse tipo pode ser realizado com base no fluxograma mostrado na **Fig.13**.

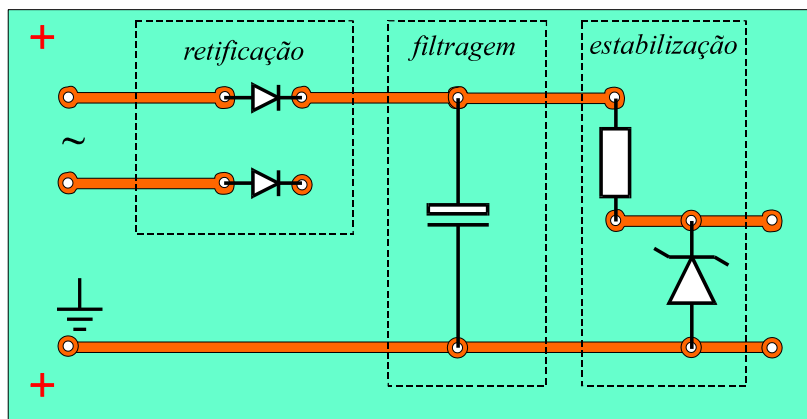


Fig.12 Placa de circuito impresso de uma fonte cc regulada a diodo Zener.

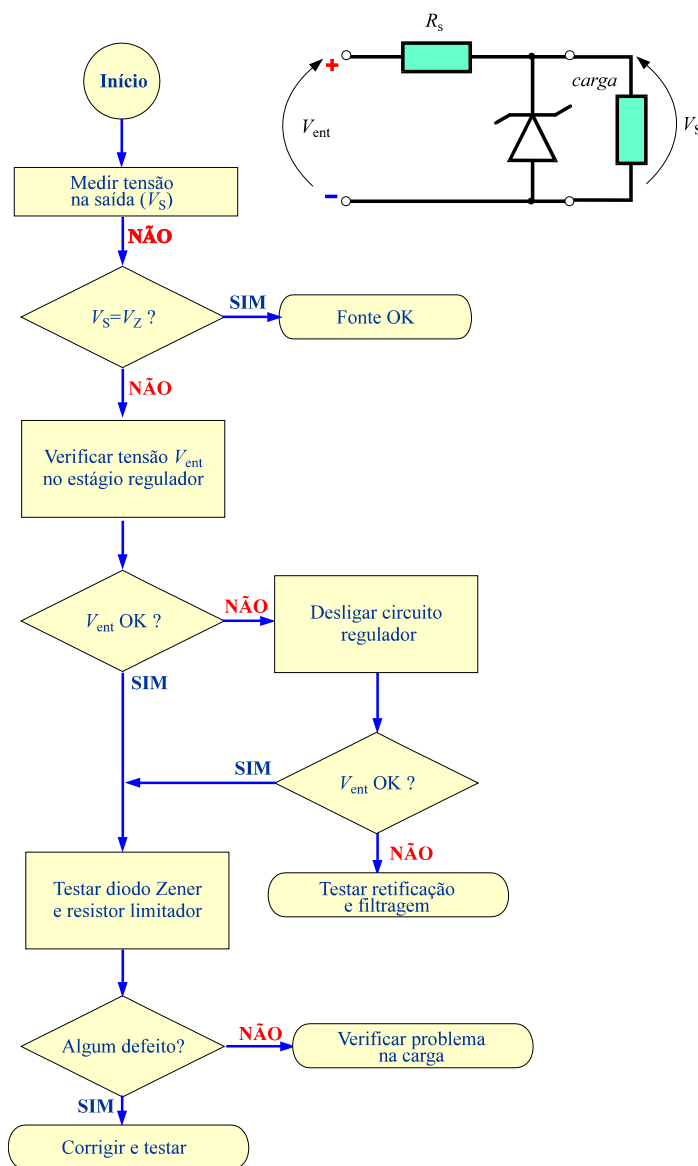


Fig.13 Fluxograma utilizado para o reparo ou teste de uma fonte cc regulada a diodo Zener.

# Apêndice

## QUESTIONÁRIO

1. Qual a principal utilização do diodo Zener?
2. Para que um regulador a diodo Zener opere adequadamente, quão maior deve ser a tensão de entrada com relação à tensão regulada?
3. Descreva os efeitos produzidos em um circuito regulador quando ocorre um aumento na tensão de entrada.
4. Repita a questão 3 no caso de ocorrer uma diminuição na tensão de entrada.
5. Como se comporta um regulador a Zener perante variações na corrente de carga?

## BIBLIOGRAFIA

ARNOLD, Robert & BRANT, Arns. Transistores, segunda parte. São Paulo, EPU, 1975. il. (Eletrônica Industrial, 2).

CIPELLI, Antônio Marco Vicari & SANDRINI, Valdir João. Teoria do desenvolvimento de Projetos de Circuitos Eletrônicos . 7.ed. São Paulo, Érica, 1983. 580p.

DEGEM SYSTEMS. Circuitos transistorizados formadores de pulso. Israel, Eletrônica modular, 1976 . 255p. il.

FIGINI, Gianfranco. Eletrônica industrial; circuitos e aplicações. São Paulo, Hemus, c 1982. 336p.

SENAI/ Departamento Nacional. Reparador de circuitos eletrônicos; eletrônica básica II. Rio de Janeiro, Divisão de Ensino e Treinamento, c 1979. (Coleção Básica Senai, Módulo 1).