

Sumário

Introdução	5
Fonte regulada com comparador	6
Diagrama de blocos	7
Diagrama de circuito	8
Amostragem	9
Referência	10
Comparação	10
Controle	11
Princípio de funcionamento do circuito regulador	11
Variação na tensão de entrada	11
Variação na corrente de carga	15
Circuitos adicionais utilizados nas fontes reguladas	18
Configuração darlington	19
Apêndice	22
Questionário	22
Bibliografia	22



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

Este fascículo encerra uma etapa importante do estudo de eletrônica. Através do projeto da fonte regulada com comparador, estarão reunidos, em uma única montagem de interesse prático, um circuito retificador, o filtro e o estágio regulador de tensão com comparador.

É importante observar como os circuitos são interconectados, como peças de um quebra-cabeça, formando um conjunto único.

O objetivo deste fascículo é justamente desenvolver no leitor uma habilidade em identificar, em um circuito completo, os **pequenos circuitos** que o compõem. Essa habilidade é indispensável àqueles que desejam fazer a manutenção e o projeto de 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:

- Filtros em fontes de alimentação.
- O diodo Zener como regulador de tensão.
- Regulação de tensão a transistor.
- Circuitos comparadores transistorizados.

Fonte regulada com comparador

A fonte regulada com comparador é um circuito eletrônico destinado a fornecer um valor de tensão contínua constante na saída, quando a corrente de carga e a tensão de entrada variarem entre valores limites preestabelecidos. Uma representação simplificada de uma fonte regulada com comparador está mostrada na **Fig.1**.

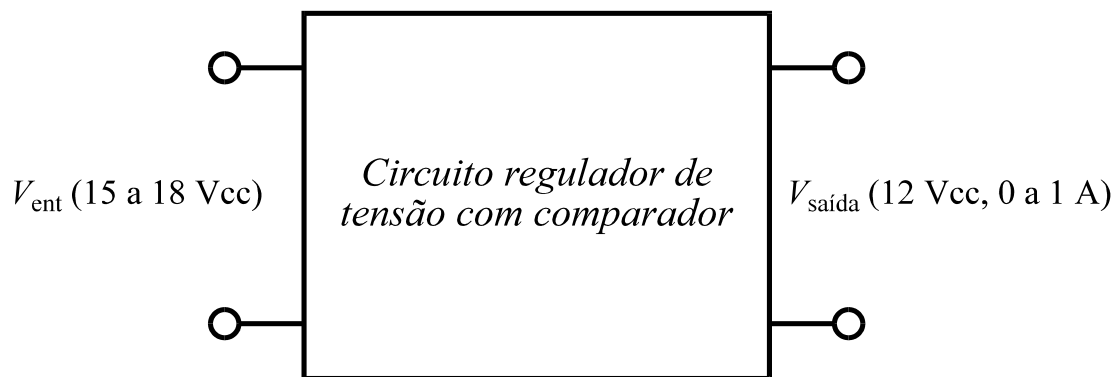


Fig.1 Bloco representativo da função de uma fonte regulada.

A fonte regulada com comparador é uma versão mais elaborada dos circuitos reguladores convencionais, sendo utilizada para alimentação de equipamentos que demandem uma alta estabilidade nas tensões de operação.

DIAGRAMA DE BLOCOS

A **Fig.2** mostra o diagrama de blocos completo de uma fonte regulada com comparador.

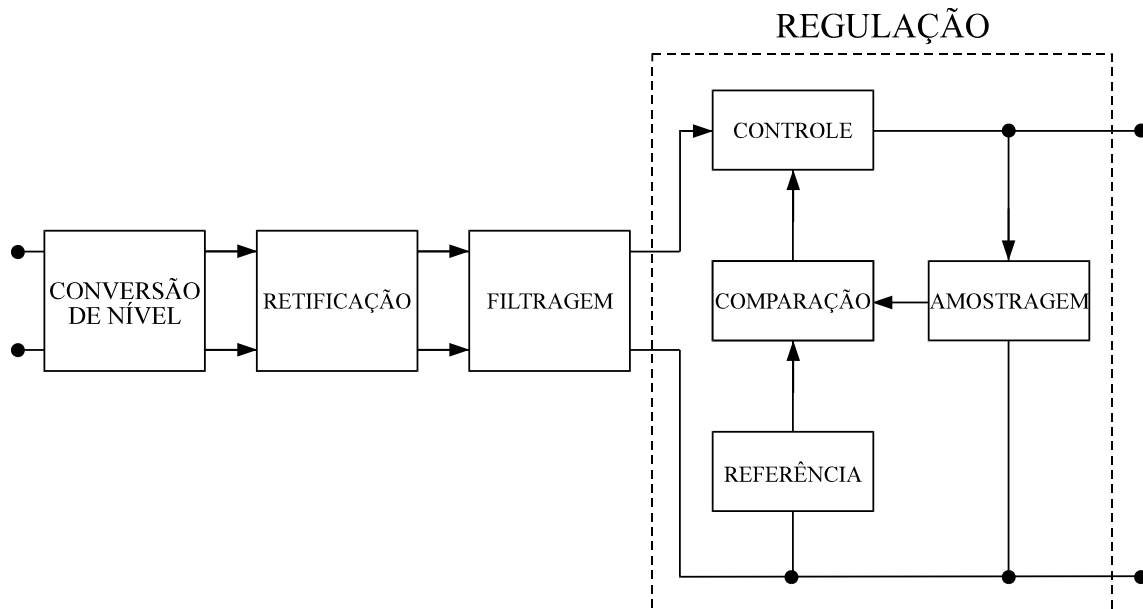


Fig.2 Diagrama de blocos de uma fonte regulada com comparador.

Os três primeiros blocos mostrados na **Fig.2** representam a transformação da tensão alternada da rede em tensão contínua filtrada, e desempenham as seguintes funções:

Conversão de nível: Esse bloco é utilizado para a obtenção do nível de tensão alternada necessário na retificação, a partir das tensões padronizadas das redes elétricas (110V, 220V).

Retificação: Esse bloco faz a transformação de tensão alternada em contínua pulsada. Esse processo é executado com o emprego de diodos, ligados de forma a fornecer uma retificação de meia onda ou de onda completa.

Filtragem: Esse bloco tem por objetivo aproximar a forma de tensão, na saída da retificação, de uma tensão contínua pura.

Os blocos restantes na **Fig.2** compõem o módulo **regulação** e desempenham as seguintes funções:

Referência: Esse bloco representa o componente ou circuito que tem por finalidade fornecer a tensão de referência necessária para o funcionamento do comparador.

Amostragem: A finalidade desse bloco é fornecer uma parcela da tensão de saída ao comparador.

Comparação: Esse bloco compara as tensões de amostra e referência, fornecendo na saída uma tensão proporcional à diferença entre aqueles dois sinais. O circuito comparador atua também como amplificador da diferença entre as tensões da amostra e da referência.

Controle: Representa o transistor regulador, que recebe na base a tensão de saída do comparador e realiza a correção na tensão de saída da fonte.

A compreensão da função desempenhada por cada bloco, bem como a identificação de seus componentes é muito importante, pois facilita a manutenção e reparo da fonte regulada.

DIAGRAMA DE CIRCUITO

A **Fig.3** apresenta o diagrama de circuito correspondente a fonte regulada com comparador.

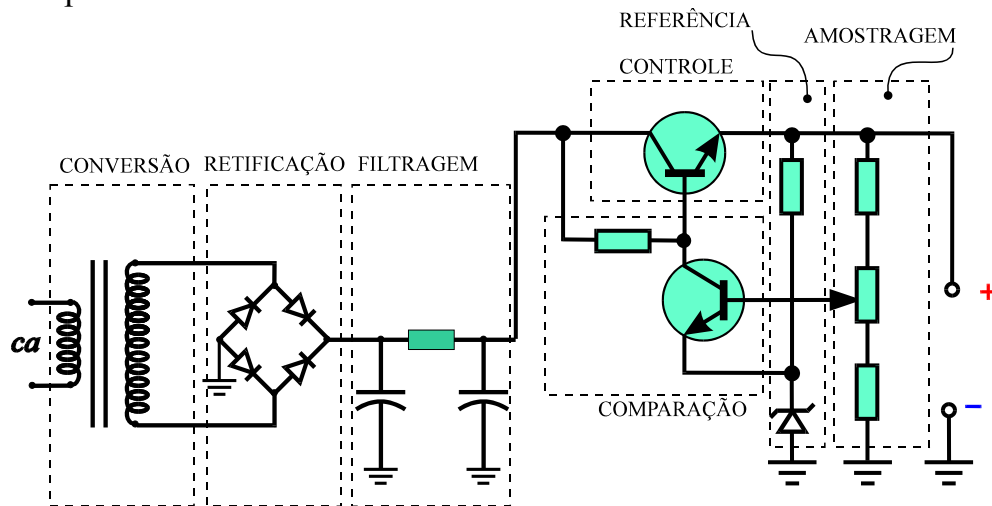


Fig.3 Circuito de uma fonte regulada com comparador.

As funções referentes a **amostragem**, **referência** e **controle** identificadas no diagrama de circuito da **Fig.3** são analisadas a seguir.

AMOSTRAGEM

Em um circuito de fonte de alimentação, a tensão definida como **tensão de saída** é a tensão *cc* fornecida pela fonte, conforme ilustrado na **Fig.4**.

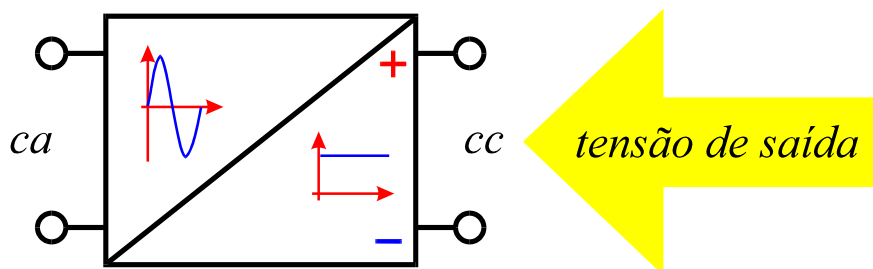


Fig.4 Definição da tensão de saída em uma fonte de alimentação *cc*.

Para obter informação do comportamento da tensão de saída é necessária a obtenção de uma **amostra** que represente, com fidelidade, possíveis variações que ocorram na saída. Nas fontes de alimentação utiliza-se um divisor de tensão para a obtenção da amostra, conforme ilustrado na **Fig.5**.

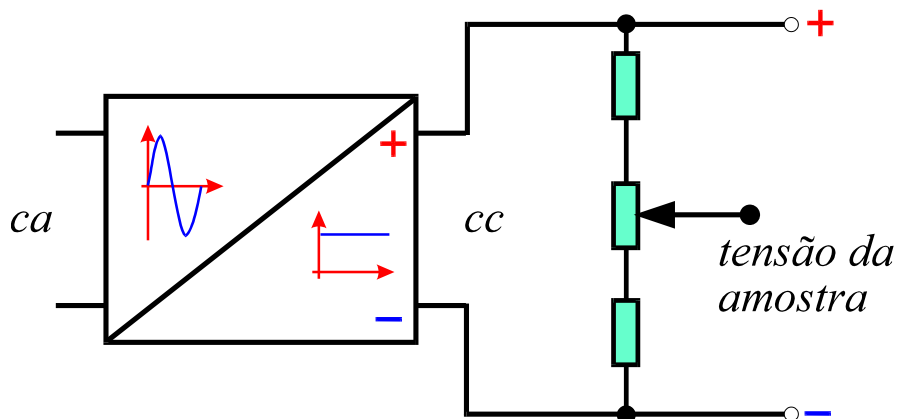


Fig.5 Divisor de tensão para obtenção de uma amostra da tensão de saída.

Como em muitas ocasiões é necessário ajustar o nível da tensão da amostra, os divisores de tensão usualmente dispõem de um potenciômetro ou *trimpot*, como se pode observar na **Fig.5**.

REFERÊNCIA

A **referência** consiste em uma tensão de valor constante, que independe das variações na corrente de carga ou no nível da tensão de entrada. Essa função pode ser obtida com o uso de um diodo Zener que fornece uma tensão fixa de referência. A **Fig.6** mostra duas configurações que possibilitam a obtenção da tensão de referência.

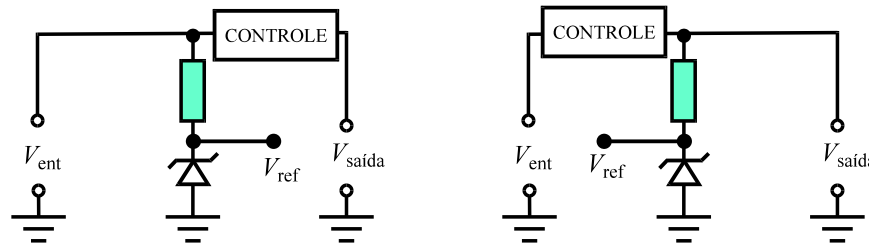


Fig.6 Dois arranjos possíveis para obtenção da tensão de referência.

COMPARAÇÃO

No circuito compoendo a fonte de alimentação, o bloco do **circuito comparador** é configurado como mostrado na **Fig.7**.

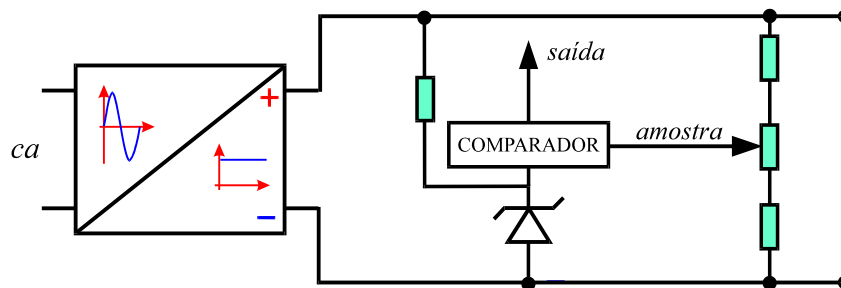


Fig.7 Configuração do circuito comparador na fonte de alimentação.

A função de comparação pode ser executada por apenas um transistor ou por circuitos mais elaborados. Quando apenas um transistor é empregado como comparador, a tensão de referência é aplicada ao emissor e a tensão da amostra é aplicada à base, como mostrado na **Fig.8**.

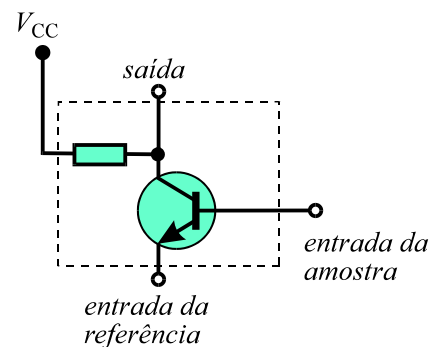


Fig.8 Circuito para a comparação entre amostra e referência.

Na configuração mostrada na **Fig.8**, a corrente drenada pelo coletor do transistor comparador depende da diferença entre as tensões da amostra e do emissor. Essa diferença corresponde à tensão V_{BE} do transistor.

CONTROLE

O elemento de **controle** da fonte de alimentação interpreta o sinal proveniente do comparador e efetua a correção de forma a manter a tensão de saída constante.

A **Fig.9** mostra os componentes do bloco de controle. O transistor de controle sofre variações na tensão V_{CE} entre coletor e emissor de forma a manter a tensão de saída sempre constante.

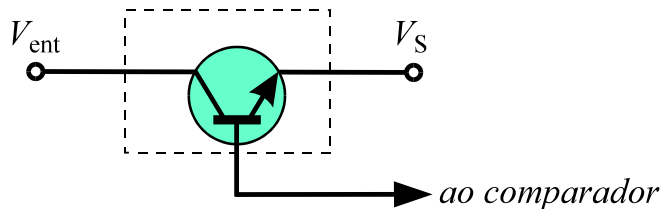


Fig.9 Porção de controle do circuito comparador.

PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO CIRCUITO REGULADOR

O princípio de funcionamento do circuito regulador pode ser analisado sob dois aspectos distintos:

- Funcionamento com variação na tensão de entrada.
- Funcionamento com variação na corrente de carga.

VARIAÇÃO NA TENSÃO DE ENTRADA

Os efeitos decorrentes de variações na tensão de entrada podem ser analisados tomando-se como condição inicial os parâmetros elétricos definidos na **Fig.10**.

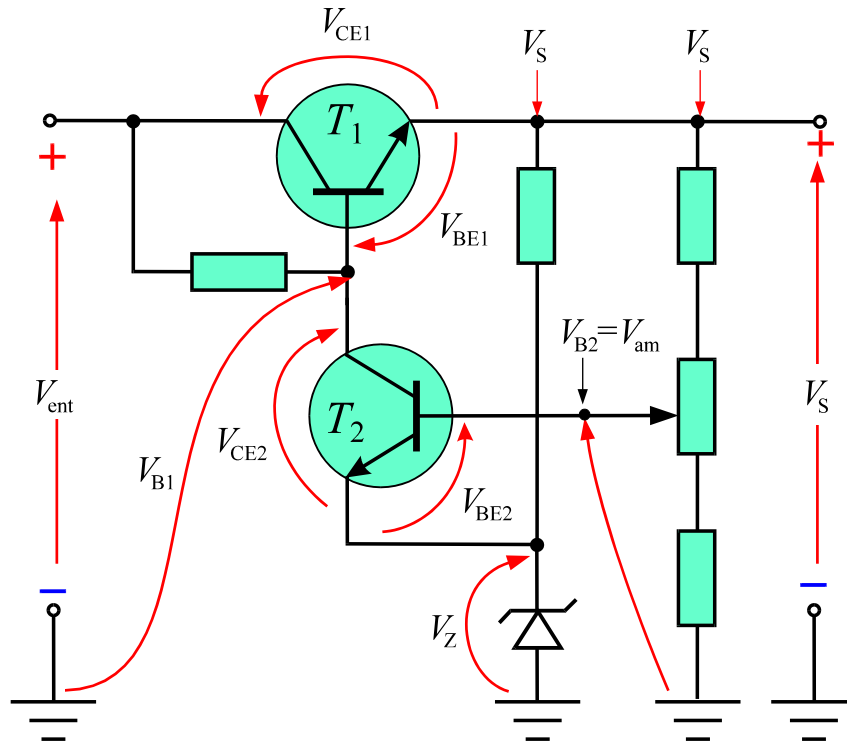


Fig.10 Bloco regulador da fonte *cc* e parâmetros elétricos correspondentes.

Quando ocorre um aumento na tensão de entrada V_{ent} , a tensão V_{B1} , na base do transistor T_1 , tende a se elevar momentaneamente, fazendo que a tensão de saída V_S também aumente, como indicado na **Fig.11**.

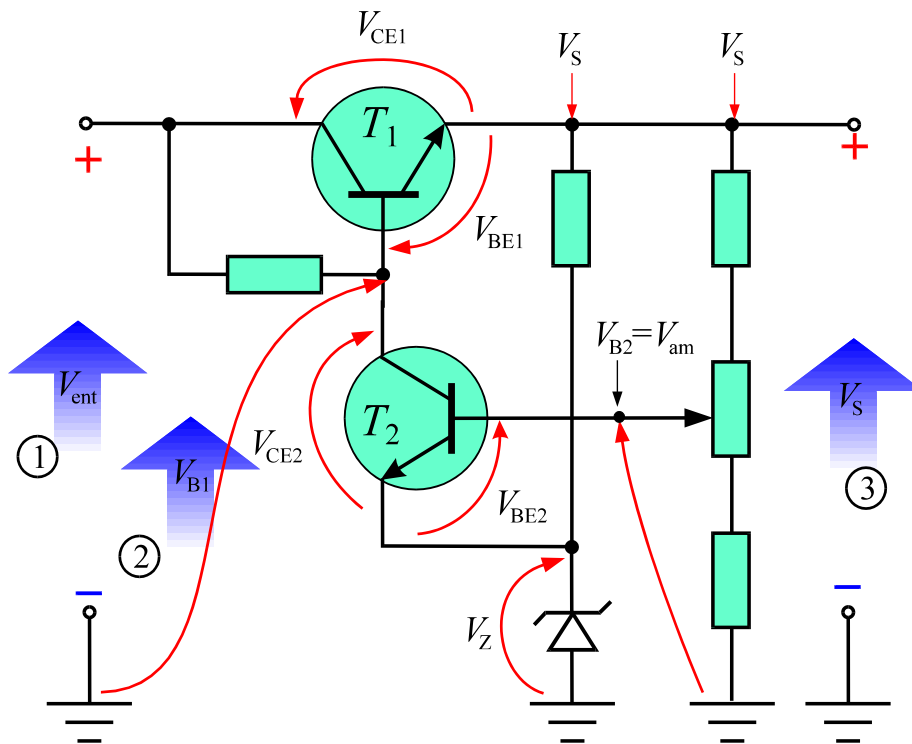


Fig.11 Efeito produzido por um aumento momentâneo na tensão de entrada.

Entretanto, a elevação na tensão de saída faz que a tensão V_{B2} , fornecida à base de T_2 pelo circuito de amostragem se eleve, resultando em uma elevação da tensão V_{BE2} do transistor T_2 , como mostrado na **Fig.12**.

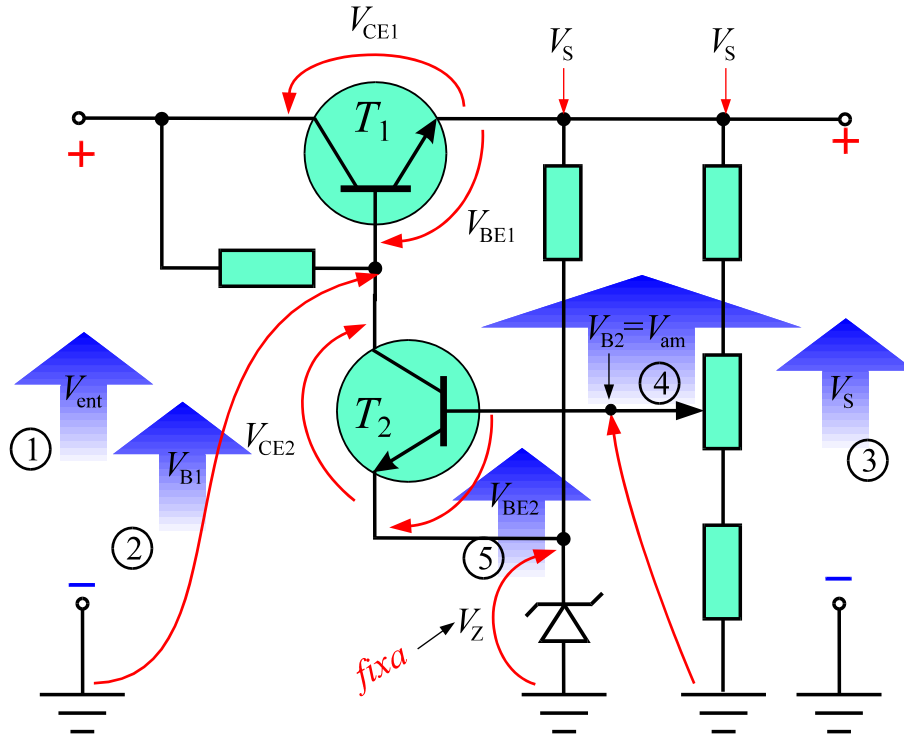
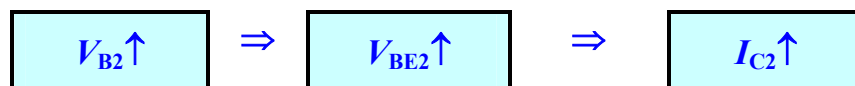


Fig.12 Aumento produzido na base do transistor T_2 devido ao aumento na tensão de saída.

O valor mais elevado da tensão V_{BE2} provoca um aumento na corrente de base do transistor T_2 e conseqüentemente ocorre um aumento na corrente drenada pelo coletor daquele transistor. Essa seqüência de eventos está representada no diagrama a seguir:



Com o aumento na corrente I_{C2} , a tensão V_{CE2} que havia aumentado, agora diminui fazendo que a tensão na base do transistor T_1 retorne a um valor bem próximo do inicial, conforme indicado na **Fig.13**.

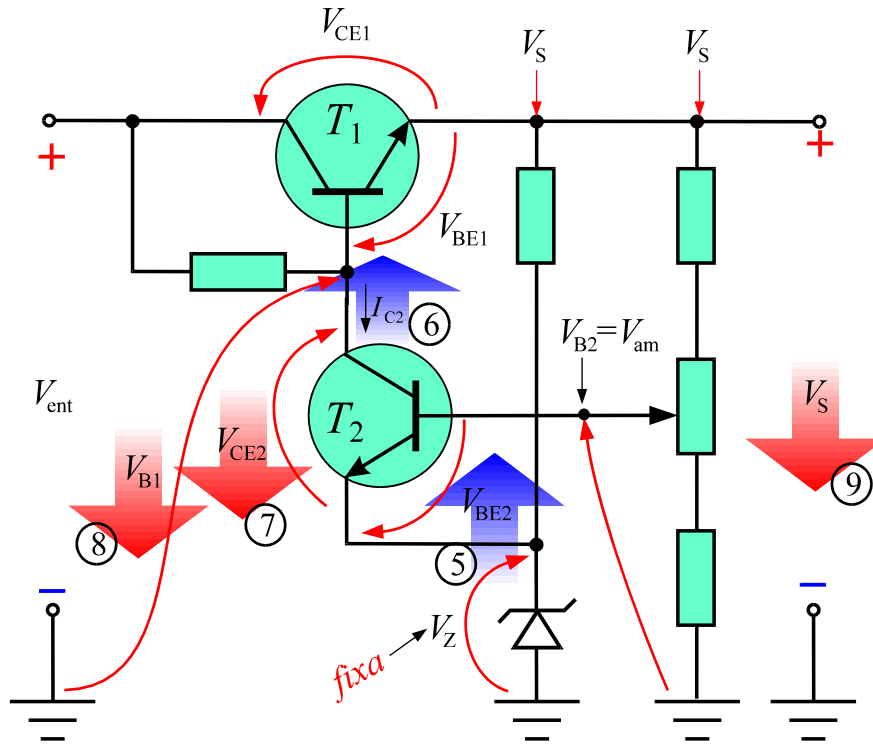


Fig.13 Efeito final produzido na tensão de saída após um aumento na tensão de entrada.

Todo o processo ocorrido após o aumento na tensão de entrada está sumarizado no diagrama de blocos mostrado na **Fig.14**.

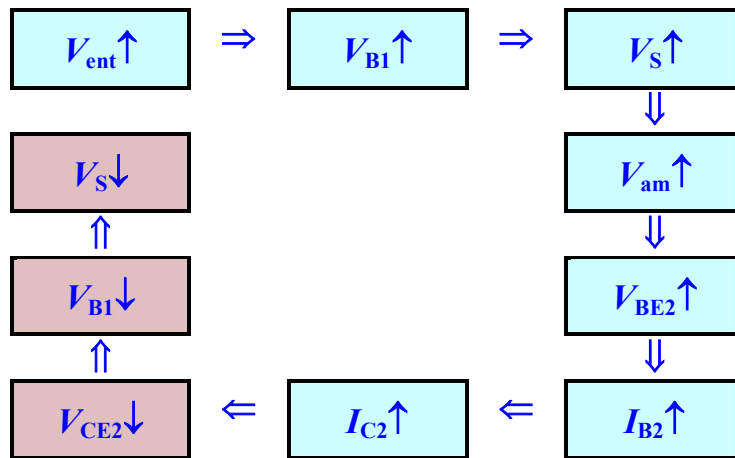


Fig.14 Diagrama de blocos representativo da seqüência de eventos decorrentes de um aumento na tensão de entrada do estágio regulador.

Se, por outro lado, a tensão de entrada diminui, o comportamento do circuito segue a seqüência de eventos mostrada na **Fig.15**.

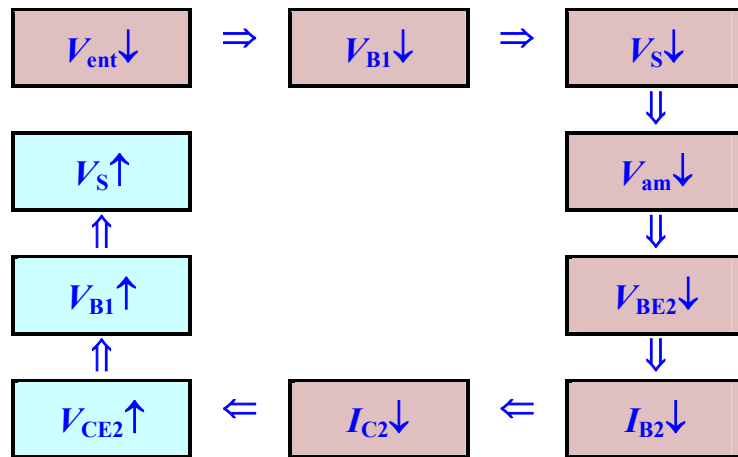


Fig.15 Diagrama de blocos representativo da seqüência de eventos decorrentes de uma diminuição na tensão de entrada do estágio regulador.

VARIAÇÃO NA CORRENTE DE CARGA

Os efeitos decorrentes de variações na corrente de carga podem ser analisados tomando-se como condição inicial os parâmetros elétricos definidos na **Fig.16**.

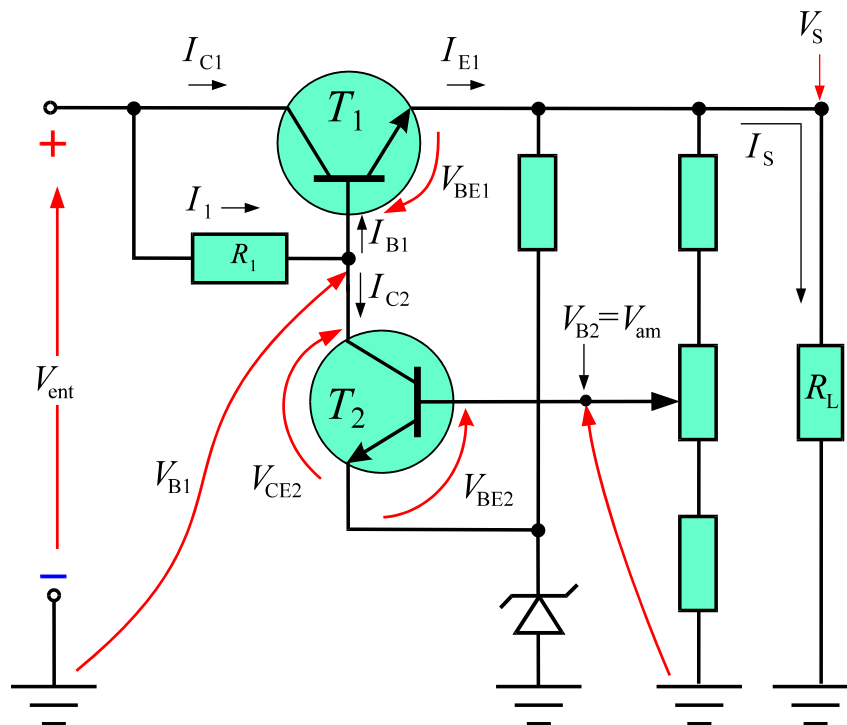


Fig.16 Bloco regulador da fonte cc e parâmetros elétricos correspondentes.

Na análise do comportamento do circuito, mostrado na **Fig.16**, perante variações na corrente de carga, vale observar o seguinte aspecto:

 **Qualquer acréscimo na corrente I_{C2} provoca um decréscimo na corrente I_{B1} e vice-versa.**

Isso é consequência do fato de um aumento na corrente I_{C2} provocar uma diminuição na tensão V_{CE2} indicada na **Fig.16**. Isso reduz a tensão V_{B1} , e por conseguinte a tensão V_{BE1} . O efeito resultante é portanto uma redução na corrente I_{B1} .

A partir dessas considerações, o comportamento do circuito regulador pode ser analisado admitindo-se inicialmente uma diminuição no valor da resistência de carga. Isso produz uma diminuição momentânea na tensão V_S . Como $V_S = V_{B2}$, a tensão V_{BE2} tende a diminuir, devido ao valor fixo da tensão no diodo Zener, conforme ilustrado na **Fig.17**.

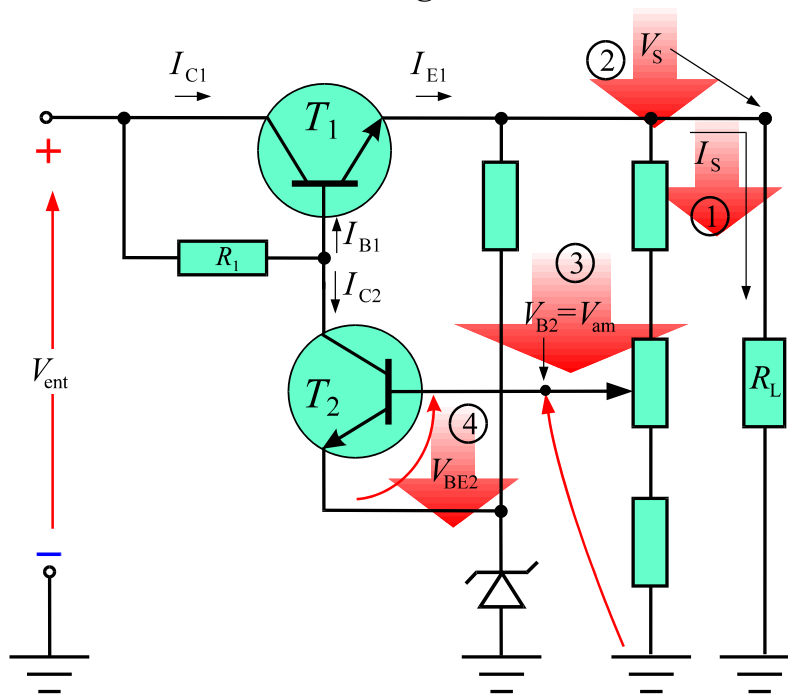


Fig.17 Efeito sobre o transistor T_2 produzido por uma diminuição na corrente de carga.

A diminuição na tensão V_{BE2} provoca um decréscimo na corrente I_{B2} fazendo que a corrente I_{C2} , indicada na **Fig.17**, também diminua. Como observado anteriormente, a diminuição em I_{C2} deve ser balanceada por um aumento na corrente I_{B1} , injetada na base do transistor T_1 , como indicado na **Fig.18**.

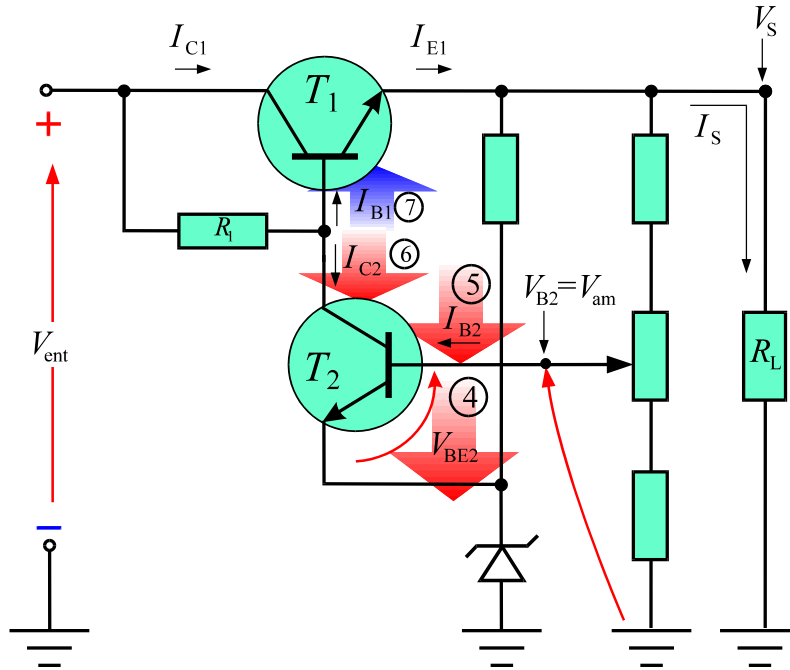


Fig.18 Efeito produzido sobre as correntes no circuito após a diminuição da corrente de carga.

Com o acréscimo da corrente I_{B1} aumenta também a corrente de coletor I_{C1} no transistor T_1 . Esse aumento provoca por sua vez um aumento na corrente de carga, elevando portanto a tensão de saída de volta para seu valor nominal, como ilustrado na **Fig.19**.

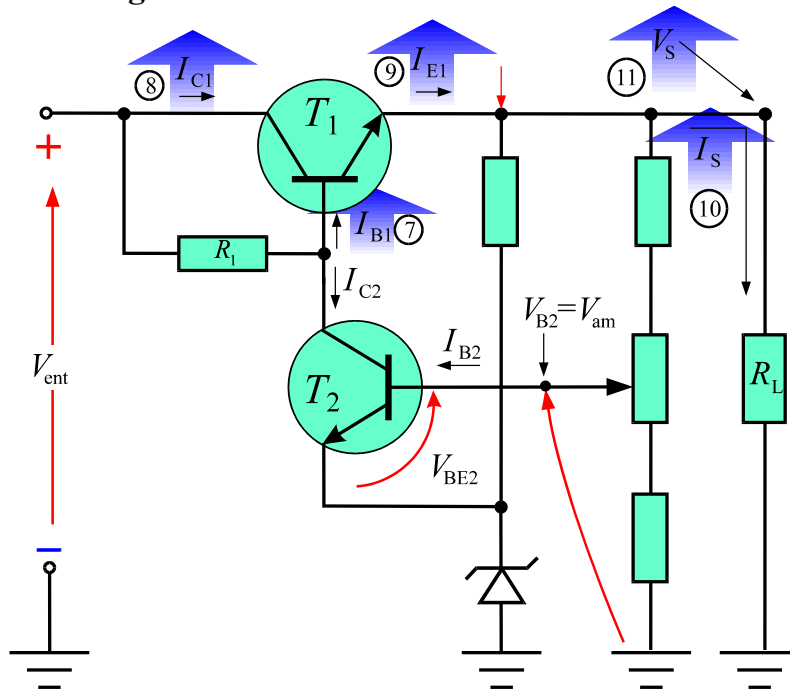


Fig.19 Efeito produzido de volta na saída após a atuação dos elementos do circuito regulador.

O diagrama mostrado na **Fig.20** resume o comportamento do circuito sob o efeito de uma diminuição inicial na corrente de carga.

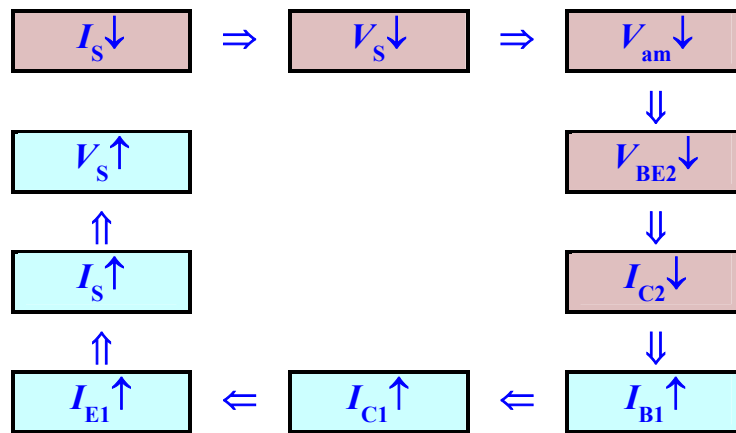


Fig.20 Sumário dos efeitos decorrentes de uma diminuição na corrente de carga no circuito regulador.

Quando a corrente de carga aumenta, a seqüência de alterações observadas no circuito regulador segue o esquema representado no diagrama de blocos da **Fig.21**.

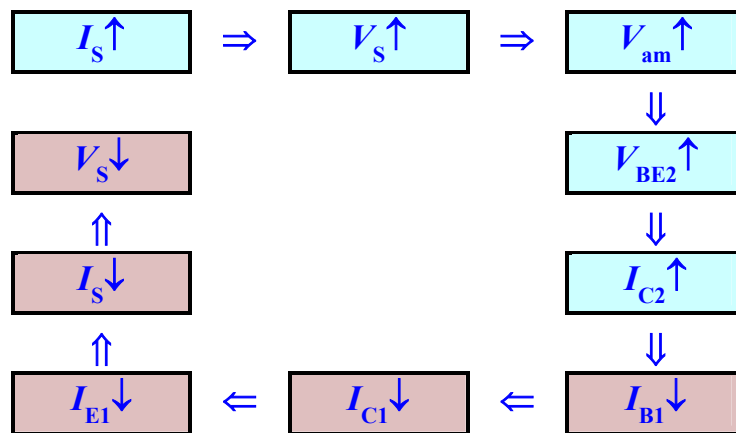


Fig.21 Sumário dos efeitos decorrentes de um aumento na corrente de carga no circuito regulador.

CIRCUITOS ADICIONAIS UTILIZADOS NAS FONTES REGULADAS

Além dos componentes utilizados nas “configurações mais simples” de fontes reguladas, podem-se acrescentar outros componentes ou mesmo circuitos para melhoria das características de funcionamento. Alguns exemplos são:

- Transistores em configuração Darlington.
- Circuito para limitação da corrente de curto-circuito.

CONFIGURAÇÃO DARLINGTON

A configuração **Darlington**, mostrada na **Fig.22**, é uma forma específica de ligação entre dois transistores. Essa forma de ligação tem características singulares.

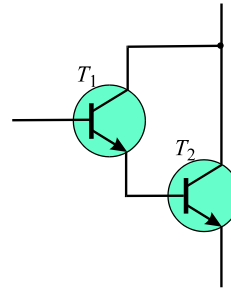


Fig.22 Configuração Darlington.

O princípio de funcionamento da configuração Darlington pode ser compreendido a partir da análise do circuito simples mostrado na **Fig.23**. Como pode ser aí observado, o resistor R_B fornece uma corrente de base I_{B1} ao transistor T_1 . Essa corrente é amplificada por T_1 , gerando uma corrente de coletor

$$I_{C1} = \beta_1 I_{B1}$$

Admitindo-se a aproximação $I_{E1} \approx I_{C1}$ conclui-se que

$$I_{E1} \approx \beta_1 I_{B1} \quad (1)$$

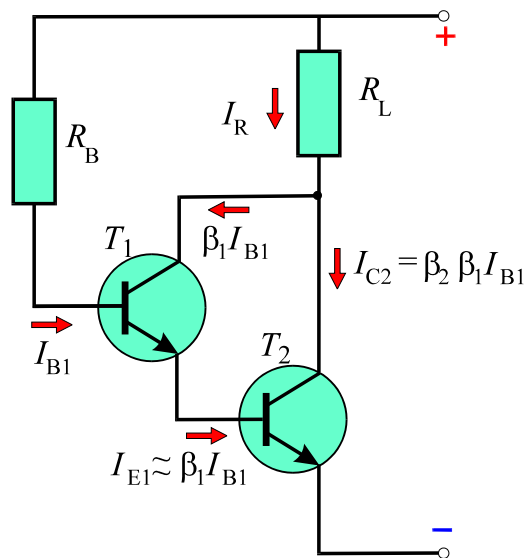


Fig.23 Correntes nos transistores da configuração Darlington.

Como mostrado na **Fig.23**, a corrente I_{E1} flui para a base de T_2 , e portanto

$$I_{B2} = I_{E1} = \beta_1 I_{B1}$$

O transistor T_2 amplifica a corrente de base, gerando uma corrente de coletor

$$I_{C2} \approx \beta_2 I_{B2} = \beta_2 \beta_1 I_{B1}$$

Como a corrente de carga I_R , mostrada na **Fig.23** é a soma $I_R = I_{C2} + I_{C1}$, obtém-se

$$I_R = \beta_2 \beta_1 I_{B1} + \beta_1 I_{B1}$$

ou equivalentemente

$$I_R = \beta_1(\beta_2 + 1)I_{B1} \quad (2)$$

Admitindo conhecida a corrente de carga, a corrente na base do transistor T_1 pode ser obtida diretamente da **Eq.(2)**, resultando em

$$I_{B1} = \frac{I_R}{\beta_1(\beta_2 + 1)} \quad (3)$$

A **Eq.(3)** mostra que, devido aos valores tipicamente altos para os ganhos dos dois transistores, uma carga exigindo um alto valor de corrente pode ser controlada através de uma corrente na base do transistor T_1 , que pode chegar a ser centenas ou até milhares de vezes inferior.

Por exemplo, comparando-se as duas situações mostradas na **Fig.24**, para se obter uma corrente de carga de 2 A, com apenas um transistor de ganho $\beta=50$, a corrente de base necessária vale

$$I_{B1} = \frac{I_R}{\beta_1} = \frac{2}{50} = 40 \text{ mA}$$

Por outro lado, para a configuração Darlington da **Fig.24b**, com dois transistores de ganhos $\beta_1=\beta_2=50$ obtém-se

$$I_{B1} = \frac{I_R}{\beta_1(\beta_2 + 1)} = \frac{2}{50 \times 51} \approx \frac{2}{50 \times 50} = 800 \mu\text{A}$$

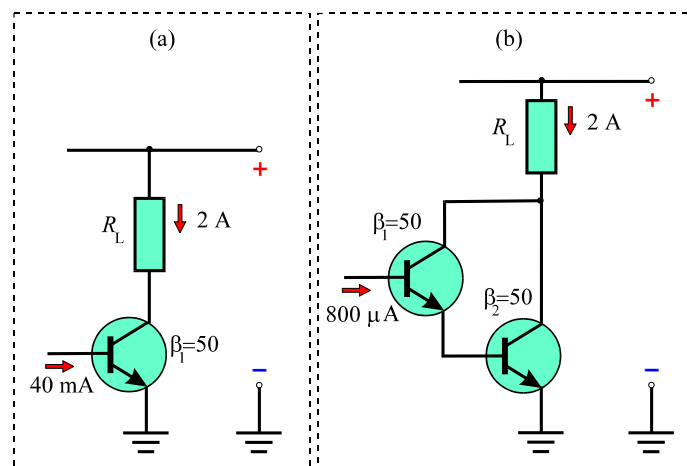


Fig.24 (a) Amplificador de corrente com apenas um transistor.
 (b) Amplificador na configuração Darlington.

Esse resultado mostra que a configuração Darlington permite a utilização de uma corrente de base muito menor do que aquela obtida com o uso de apenas um transistor.

A **Fig.25** mostra o diagrama de uma fonte regulada simples que utiliza transistores ligados na configuração Darlington.

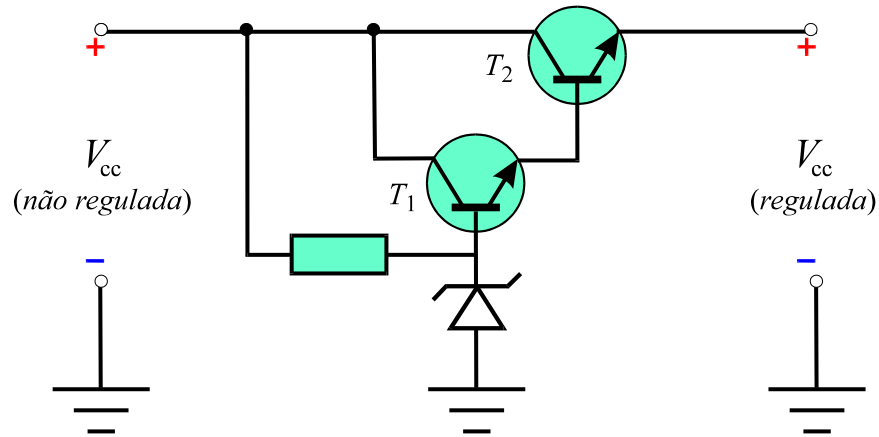


Fig.25 Circuito regulador de uma fonte de alimentação que utiliza a configuração Darlington.

Como vantagens fundamentais de utilização da configuração Darlington no circuito regulador, pode-se destacar:

- As variações de corrente no diodo Zener em função da corrente de carga são menores, aumentando assim a estabilidade da tensão de saída.
- Uma menor dissipação de potência é obtida no diodo Zener.

Apêndice

QUESTIONÁRIO

1. Descreva a função de cada um dos blocos que compõem uma fonte regulada com comparador.
2. Descreva a seqüência de eventos decorrentes de uma diminuição na tensão de entrada no circuito da **Fig.10**.
3. Descreva a seqüência de eventos decorrentes de um aumento na corrente de carga para o circuito da **Fig.16**.
4. Quais as vantagens de utilização da configuração Darlington em um circuito regulador?

BIBLIOGRAFIA

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

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

MILLMAN, Jacob & HALKIAS, Chistos C. Eletrônica: dispositivos e circuitos.

Trad. Elédio Robalinho e Paulo Elyot Meirelles Villela.. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1981. il. v.2