

# Conhecendo melhor o Diodo Zener

Por **NORMAN CRAWFORD**

DENTRE os numerosos tipos de componentes semicondutores que se apresentam ao entusiasta da moderna eletrônica, nenhum parece ser tão subestimado e mal compreendido quanto o diodo zener. Como êle apresenta a capacidade, que lhe é peculiar, de manter uma tensão dentro de limites bem definidos, não obstante as variações na corrente de carga ou na tensão de alimentação, seu comportamento parece estranho à primeira vista.

O diodo zener não é apenas um componente de estado sólido "sui-generis". É também um dos mais importantes no que diz respeito à eficiência e segurança de funcionamento em um circuito. O experimentador que não está em condições de tirar partido de suas propriedades está em desvantagem, em relação àqueles que sabem como utilizar o diodo zener. Ainda assim, a julgar por sua utilização pouco comum, parece que muitos experimentadores não dominam inteiramente o mecanismo de funcionamento do zener — ou não recorrem a êle por considerá-lo de valor duvidoso.

Embora haja diversos bons livros que tratam dos diodos zener, a maioria dêles destina-se a leitores em nível de engenharia. Os poucos livros de nível menos técnico raramente fazem mais do que informar que o componente existe. Êste artigo preenche a lacuna formada entre os textos que trazem uma informação muito superficial e, por isso, inútil, e aqueles que apresentam o assunto em nível muito "pesado", com miúdas excessivas.

## CIRCUITOS REGULADORES DE TENSÃO

Tais circuitos são empregados mais comumente em fontes de alimentação com regulação eletrônica, mas também podem ser usados sempre que se necessitar de um

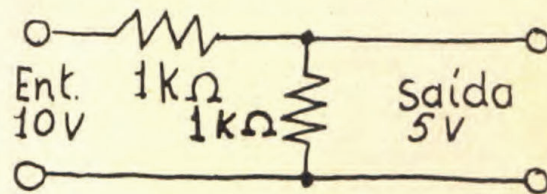
---

Um componente de estado sólido que, por apresentar características peculiares e até desconcertantes, é pouco compreendido e, por isso, muito pouco empregado.

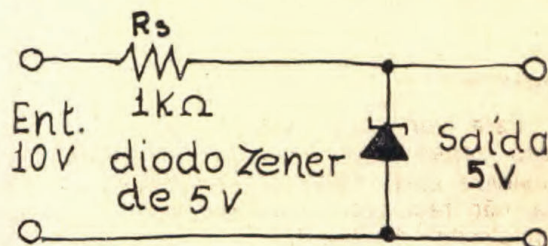
---

nível constante de tensão, em um ponto qualquer de um circuito. Para compreender porque a regulação de tensão é tão importante, é preciso examinar as condições que existem quando não se faz a regulação.

Considere o circuito de saída de uma fonte de alimentação não regulada. Em sua representação esquemática mais simples, o circuito equivale a uma tensão de entrada, uma resistência da fonte e uma resistência de saída. A entrada "vê" os dois resistores como um divisor de tensão. Se ambas as resistências forem de igual valor — digamos  $1\text{ k}\Omega$  — a tensão de saída será exatamente igual à metade da tensão de entrada. Para uma entrada de  $10\text{ V}$ , a saída será de  $5\text{ V}$ ; uma entrada de  $15\text{ V}$  fornece uma saída de  $7,5\text{ V}$  e assim sucessivamente.



Um ponto importante que se deve ter em mente aqui é que estas tensões de saída são ideais; nenhuma carga foi colocada no circuito. Agora, substitua o resistor de saída por um diodo zener de  $5\text{ V}$ , e aplique  $10\text{ V}$  na entrada. Como acontecia antes, com o

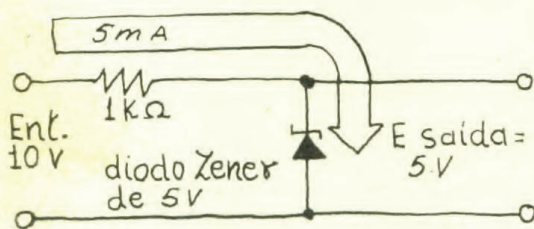


resistor de  $1\text{ k}\Omega$  na saída, a tensão se divide exatamente por dois, de forma que apareçam  $5\text{ V}$  na saída. O que acontece quando o potencial de entrada é aumentado para  $15\text{ V}$ ? Estranho como pareça, a saída permanece com  $5\text{ V}$ , como resultado da facilidade reguladora do diodo zener.

No circuito divisor de tensão, de acordo com a lei de Ohm ( $I = E/R$ ), a corrente que passa pelo circuito é de  $5\text{ mA}$  quando a tensão de entrada é de  $10\text{ V}$ . Por conseguinte, o potencial de saída deve ser  $E_{\text{saída}} = I \times R = 0,005 \times 1.000 = 5\text{ V}$ .

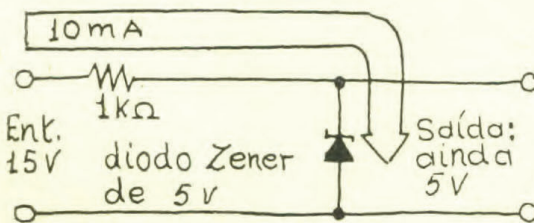
Aplicando a lei de Ohm para o caso de uma entrada de  $15\text{ V}$ , pode-se comprovar que a corrente será de  $7,5\text{ mA}$  e a tensão de saída subirá para  $7,5\text{ V}$ .

Quando o diodo zener de  $5\text{ V}$  substitui o resistor de saída, contudo, um estranho fenômeno se verifica quando a tensão é aumentada. Para uma entrada de  $10\text{ V}$ , devemos ter uma corrente de  $5\text{ mA}$  e uma saída de  $5\text{ V}$ . Neste caso são mantidas as mesmas



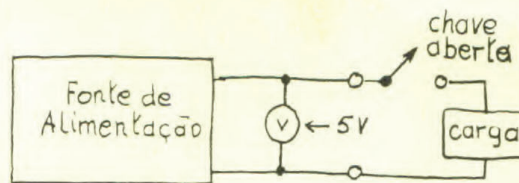
relações de tensão e corrente no divisor de tensão, com a inclusão do diodo zener e com uma entrada de  $10\text{ V}$ .

Elevando a tensão de entrada para  $15\text{ V}$ , passará pelo diodo uma corrente de  $10\text{ mA}$ , mantendo uma tensão de saída de  $5\text{ V}$ . Isso mostra que, enquanto um resistor se com-

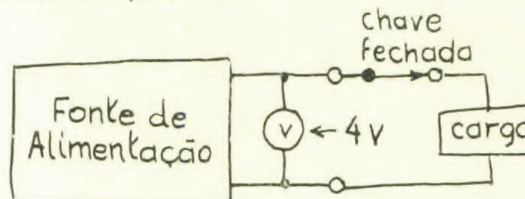


porta de acordo com a lei de Ohm, o diodo não segue esta lei, variando sua resistência efetiva de acordo com a necessidade, de modo a fornecer uma tensão de saída constante.

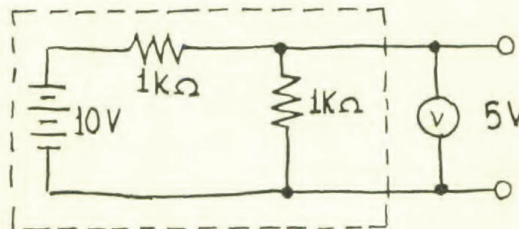
Para ver como esta peculiaridade do diodo zener pode prestar bons serviços, considere uma fonte de alimentação hipotética, não regulada, cuja tensão sem carga (em aberto) é de  $5\text{ V}$ .



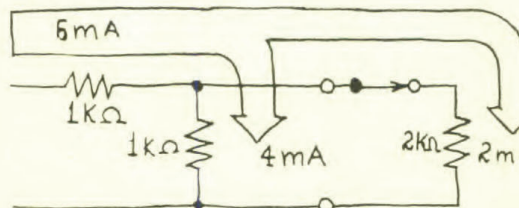
Quando a chave é fechada e a carga incluída no circuito da fonte, sua tensão de saída cai para  $4\text{ V}$ .



Agora, suponhamos os seguintes valores para os componentes hipotéticos no interior da fonte de alimentação:  $1.000\text{ ohms}$ , para a resistência da fonte e para a resistência de saída, e  $10\text{ V}$  para a tensão da fonte. Para não complicar o exemplo, suponha que a carga é um resistor comum de  $2\text{ k}\Omega$ .



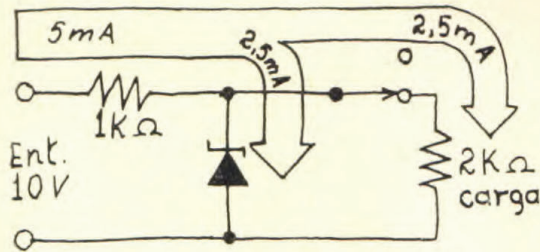
Com a chave aberta e a carga desligada, a saída é de  $5\text{ V}$ , com  $5\text{ mA}$  no resistor de saída. Ao fechar o interruptor, o resistor de carga fica em paralelo com o resistor de saída, de modo que os  $6\text{ mA}$  agora debitados da fonte se dividem:  $4\text{ mA}$  pelo resistor de saída de  $1\text{ k}\Omega$  e  $2\text{ mA}$  pelo resistor de carga de  $2\text{ k}\Omega$ .



Usando a lei de Ohm,  $E_{\text{saída}} = 2.000 \times 0,002 = 4\text{ V}$ . O que aconteceu é que o resistor de carga, em paralelo com a resistência de saída da fonte, aumentou a carga ou, em outras palavras, diminuiu a resistência "vista" pela fonte, reduzindo assim a queda de tensão na saída da fonte.

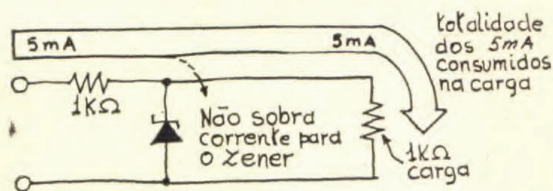
Como pode o diodo zener contribuir para melhorar as coisas? Comece por

colocar um diodo zener em substituição ao resistor de saída. Com a chave aberta, há uma queda de 5V no diodo zener, conforme foi explicado acima. A diferença agora é que, quando a chave é fechada e a carga ligada à saída da fonte de alimentação, a corrente se divide ainda — 2,5 mA passando pelo diodo zener e 2,5 mA pela carga.



A redução de corrente no diodo zener, desde que não ultrapasse um certo limite, não produz um efeito apreciável sobre ele e a tensão em seus terminais pode ser considerada praticamente constante e igual a 5V. Em consequência, a carga de 2kΩ estará submetida a uma tensão de 5V. Como a carga é um resistor (ou qualquer outra carga equivalente) a corrente de carga deve ser calculada pela lei de Ohm:  $I_{\text{carga}} = E/R = 5/2.000 = 2,5 \text{ mA}$ .

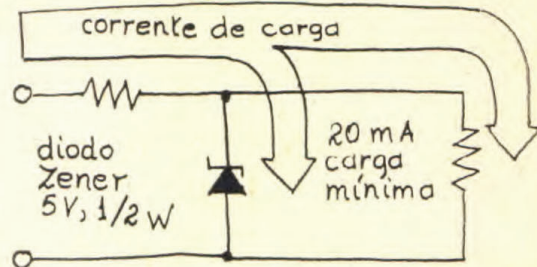
A esta altura, você estará querendo saber o que aconteceria se a resistência da carga baixasse para 1kΩ. Para chegar a uma solução, calcule novamente a corrente de carga, usando agora 1.000 em lugar de 2.000 ohms. Obterá assim 5 mA, que será então o valor da corrente de carga; com este consumo de corrente na carga, não sobra corrente para o diodo zener. Sem o suprimento de corrente, o diodo zener deixa de conduzir e a tensão nos terminais da carga começa a cair, à medida que sua resistência for diminuindo.



Antes porém do completo colapso de corrente, a grande maioria dos diodos zener costuma indicar sua impossibilidade em manter a regulação (por insuficiência de corrente) exibindo uma variação lenta na tensão de saída.

Uma boa regra prática é manter no zener uma corrente sempre superior a 20% do valor máximo de corrente do diodo. O mínimo de corrente no diodo ocorre quando a carga "puxa" o máximo. Conhecendo a

potência e a tensão nominal do diodo, a corrente máxima pode ser calculada pela fórmula  $P = IE$ , de onde se tira  $I = P/E$ . Suponha que se trata de um diodo zener de 5V, 1/2 W. A corrente máxima que ele pode suportar é de  $I_{\text{max}} = 0,5/5 = 0,1 \text{ A}$  ou 100 mA. Neste caso, a corrente no diodo nunca deve ser maior do que este valor nem menor do que 20% dele, ou seja, 20 mA.

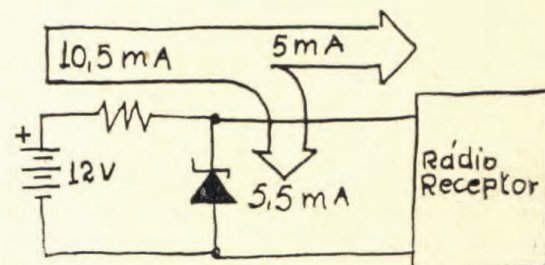


Tudo o que foi explicado poderá ser interessante mas, que aplicações práticas existem para a regulação com o diodo zener?

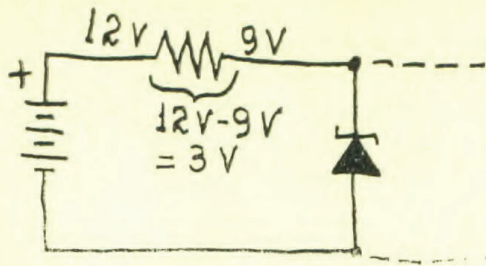
### REDUÇÃO E REGULAÇÃO DE TENSÃO

Uma das aplicações mais comuns para o diodo zener consiste em reduzir uma tensão a um nível adequado e mantê-la neste nível. Como exemplo, suponhamos que você tem um rádio portátil que precisa de uma tensão de alimentação de 9V C.C. e que você deseja fazê-lo funcionar utilizando a saída de 12V do acendedor de cigarros existente no seu carro. Obviamente, você precisará de um diodo de 9V.

Projetar o circuito regulador é relativamente fácil. Se o rádio-receptor "puxa" uma corrente de 5 mA e a tensão da bateria é de 12V, você deve determinar inicialmente a corrente máxima que pode passar pelo diodo. Vamos fazer uma tentativa começando com um diodo de 1/4 W. Usando a fórmula da potência,  $I_{\text{max}} = P/E = 0,25/9 = 27,8 \text{ mA}$ . Vinte por cento de 27,8 é 5,56 mA. Portanto, a fonte de tensão deve fornecer uma corrente total de 10,5 mA — 5 para a carga e 5,5 (no mínimo) para o diodo zener.

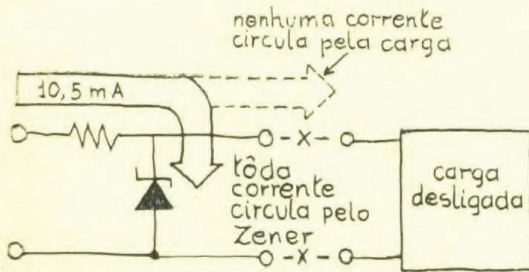


Sabemos que a corrente de 10,5 mA deve passar pelo resistor, que a bateria está aplicando 12V em um dos extremos do re-

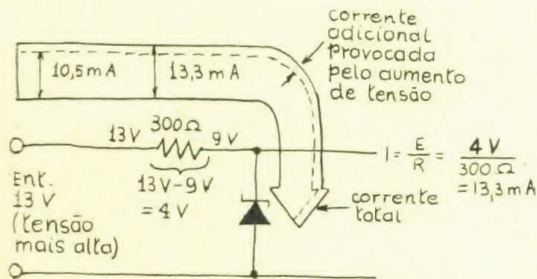


sistor e que a queda de tensão no diodo é de 9V. O resultado é que a tensão entre os terminais do resistor é de  $12 - 9 = 3V$ . A lei de Ohm nos indica então o valor deste resistor:  $R = E/I = 3/0,0105 = 286\Omega$ . Como tal valor não é padronizado, usaremos um resistor de  $300\Omega$ . A seguir, usaremos a fórmula da potência para saber que potência o resistor deverá dissipar:  $P = 10,5 \times 3 = 31,5\text{ mW}$ . Praticamente qualquer resistor de  $300\Omega$  encontrado no comércio poderá ser usado. Usaremos um de  $1/4\text{ W}$ , que trabalhará ainda com bastante folga.

Conquanto o circuito, com os componentes calculados acima, deva funcionar quase com certeza, vejamos se os componentes poderão suportar as "piores condições". Primeiro, suponha que a alimentação para o receptor seja interrompida bruscamente.



Imediatamente, os  $10,5\text{ mA}$  de corrente total passarão a circular exclusivamente pelo diodo zener e — ao mesmo tempo — suponhamos que a tensão de entrada subiu para  $13\text{ V}$ .

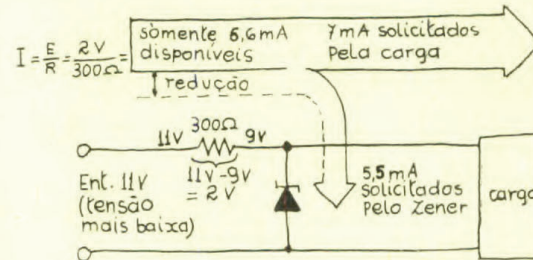


Com este acréscimo de tensão, a corrente no diodo atingirá a  $13,3\text{ mA}$ . Voltemos à fórmula de potência:  $P = 0,0133 \times 9 = 119,7\text{ mW}$  — ainda bem abaixo dos  $250\text{ mW}$  ( $1/4\text{ W}$ ), que é a potência máxima do diodo zener considerado.

Mas, não terminamos ainda. Ainda precisamos verificar o que está se passando

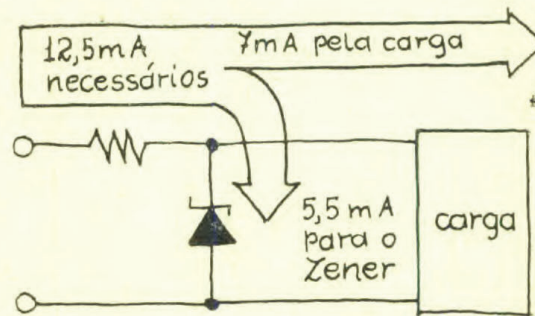
com o resistor:  $P = 0,0133 \times 4 = 53,2\text{ mW}$ , também muito abaixo da potência nominal de  $1/4\text{ W}$ . Tudo está indo bem.

Suponha agora que a carga solicita mais um ou  $2\text{ mA}$  de corrente (como bem pode acontecer em um receptor normal, especialmente com o estágio de saída em classe B) e que a tensão da bateria, no mesmo instante cai para apenas  $11\text{ V}$ .

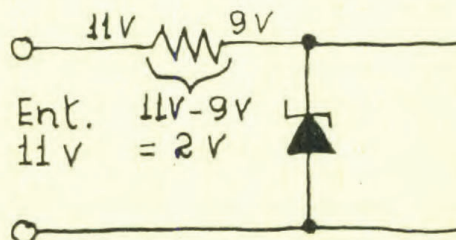


Isto reduz a queda de tensão no resistor para apenas  $2\text{ V}$ , o que significa uma corrente total de apenas  $6,67\text{ mA}$ . Infelizmente, o receptor precisa de  $7\text{ mA}$  para funcionar corretamente. Sem a corrente mínima necessária, o diodo zener deixa de regular a tensão de saída e esta, cai até que se torna insuficiente para o bom funcionamento do receptor. O circuito regulador está falhando e alguma coisa precisa ser feita para corrigir a situação.

Nem tudo está perdido e, por causa da simplicidade do circuito, a solução é também simples. Alguma coisa precisa ser feita, naturalmente, em relação ao resistor. Como sabemos que o diodo zener precisa de  $5,5\text{ mA}$  para se manter ativo e que o receptor precisa de  $7\text{ mA}$ , o resistor deve ser calculado de modo a permitir a passagem de uma corrente total, de  $12,5\text{ mA}$ .



Sabemos também que a queda de tensão sobre o resistor é de apenas  $2\text{ V}$ .



(Continua à pág. 256)

## EDIÇÕES ELECTRA DE RÁDIO E TV

667 — Cabrera — **TV Reparações pela Imagem** — Como diagnosticar defeitos pela observação da imagem — NCr\$ 12,00.

003-A — Cabrera — **Manual de Válvulas Electra — Série Alfabética** — Características de válvulas nacionais, americanas e européias; equivalências e ligações do suporte — Volume abrangendo os tipos cujas designações começam por letras — NCr\$ 18,00.

003-B — Cabrera — **Manual de Válvulas Electra — Série Numérica** — Características de válvulas nacionais, americanas e européias; equivalências e ligações do suporte. Volume abrangendo os tipos cujas designações começam por números — NCr\$ 23,00.

448-A — Isidro H. Cabrera — **Esquemas Nacionais de TV** — 60 esquemas de fábricas nacionais de TV. 1.º volume — NCr\$ 15,00.

448-B — Isidro H. Cabrera — **Esquemas Nacionais de TV** — Volume II — NCr\$ 15,00.

448-D — Isidro H. Cabrera — **Esquemas Nacionais de TV** — Volume IV — NCr\$ 15,00.

388 — Cabrera — **O Transistor** — Teoria, características, circuitos típicos, concertos de rádios transistorizados. (Port.) — Nova Edição — NCr\$ 15,00.

686 — Isidro H. Cabrera — **Televisão Prática** — Livro para preparo dos técnicos de televisão, teoria, esquemas, defeitos. Nova edição — NCr\$ 22,00.

310 — Cabrera — **Montagens de Amplificadores e Receptores** — Descrição pormenorizada, com fotografias, esquemas, chapeados e instruções completas para a montagem de 13 amplificadores e 7 rádio-receptores modernos e eficientes — NCr\$ 17,00.

035 — Cabrera & Saba — **Aprenda Rádio** — Livro ideal para o principiante: teoria básica, montagem de receptores e amplificadores. Nova edição — NCr\$ 15,00.

236 — Cabrera — **120 Esquemas de Rádio-Receptores** — Esquemas e relação de materiais para a montagem de rádios de válvulas e transistores, utilizando bobinas de fabricação comercial — NCr\$ 13,00.

611 — Cabrera — **Rádio Reparações** — Localização de defeitos, etapa por etapa; análise, valor dos potenciômetros e transformadores; seus cálculos e dados práticos — e outros informes para o rádio-reparador. Nova edição no prelo.

## LOJAS DO LIVRO ELETRÔNICO

**FILIAL GUANABARA:** Av. Mal. Floriano, 148 - Fone 243-6314 - Rio de Janeiro, GB

**FILIAL SÃO PAULO:** Rua Vitória, 379/383 Fone 34-0240 - São Paulo, Capital

**Reembolso:** C. Postal 1131 - ZC-00 - Rio

(Instruções e Fórmula de Pedidos na primeira página desta revista)

## CONSTRUA UM...

(Conclusão da pág. 242)

compensando-se qualquer excesso de pêso (passageiros, etc.) por um ligeiro aumento da pressão dos pneus.

Os óleos lubrificantes muito viscosos contribuem para agravar a resistência ao avanço, muito embora possam ser aconselháveis em climas equatoriais, ou durante o verão. Troque de óleo de acordo com a estação — e com o manual do carro.

### COMO FUNCIONA

O circuito da Fig. 1 representa, em linhas gerais, uma ponte que pode ser equilibrada em 0 G mediante o ajuste do potenciômetro R5. O pêndulo acha-se ligado fisicamente ao eixo do potenciômetro R4; se o pêndulo efetua um deslocamento em torno de seu eixo, a ponte se desequilibra, e o medidor M1 indica o grau de desequilíbrio (a escala do medidor é graduada em G). A posição de CH2 determina o sentido da circulação da corrente por R4, podendo-se, assim, obter uma tensão positiva, em decorrência do movimento do cursor de R4 provocado por uma oscilação do pêndulo para trás (aceleração), ou para frente (deceleração). O valor de R6 é escolhido de modo a fazer com que a plena deflexão da escala de M1 corresponda a +45° ou -45° de giro do eixo do potenciômetro, em relação à sua posição normal de 0 G.

O diodo D3, em série com o medidor, só permite a passagem da corrente num sentido, impedindo que a agulha de M1 esbarre com violência no batente da escala, numa parada súbita, com CH2 na posição de aceleração, ou vice-versa. O capacitor C1 provê o amortecimento elétrico do medidor, a fim de suavizar os transientes mais fortes, devidos a efeitos inerciais do pêso excêntrico.

A alimentação do dispositivo é extraída do sistema de 12 V do carro, através do fusível F1, resistor limitador de corrente R1, e um regulador de 9,4 V, composto dos diodos zener D1 D2.

## CONHECENDO MELHOR...

(Continuação da pág. 246)

Segundo a lei de Ohm, temos então  $R = E/I = 2/0,0125 = 160 \Omega$ . Para satisfazer mesmo sob as "piores condições", o valor do resistor deve ser reduzido à metade. Uma alteração tão grande no valor inicial requer uma verificação para o caso



**EQUIPAMENTOS  
E ACESSÓRIOS  
PARA RÁDIO,  
AMPLIFICAÇÃO  
SONORA,  
TELEVISÃO E  
RÁDIO-  
TRANSMISSÃO**

## REEMBOLSO ESPECIAL ELECTRONIC

**RAPIDEZ E PERFEIÇÃO**

Procure conhecer a linha de "KITS" ELECTRONIC que lhe assegurará bons lucros e satisfação absoluta na performance

Mande urgente seu nome e endereço novo, para receber as atualizadas e bem planejadas

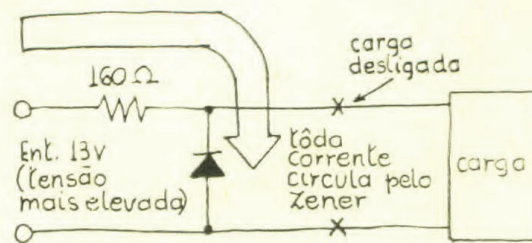
### LISTAS DE PREÇOS

de equipamento e acessórios de fabuloso estoque da Electronic.

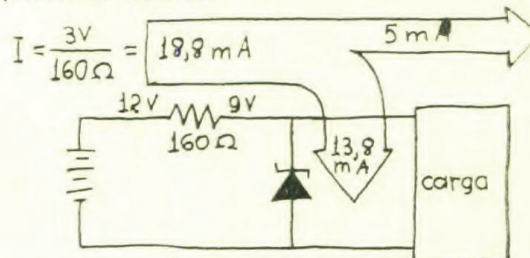
## ELECTRONIC DO BRASIL

Rua do Rosário, 159  
RIO DE JANEIRO — GB

oposto — receptor desligado e bateria com tensão de 13 V.



Felizmente, em tais condições, o cálculo (semelhante ao que já feito), mostra que o resistor de 1/4 de W pode suportar a corrente. Agora temos um regulador em que podemos confiar.



Entretanto, a regulação tem seu preço — o desperdício de 13,8 mA de corrente no diodo zener. A vantagem é que o receptor funcionará em segurança, não obstante as variações em seu próprio consumo e na tensão da bateria.

Agora você sabe o que é um diodo zener e, o que é mais importante como ele pode ser usado eficientemente. Nosso exemplo hipotético girou em torno de um rádio-receptor como carga. Todavia, a carga poderia ser um amplificador de alta fidelidade, um oscilador ou mesmo um instrumento de teste.

## TELEVISÃO A CÔRES...

(Continuação da pág. 249)

há a metade opaca do disco, que bloqueia tôda a luz incidente na câmara de TV durante 50% do tempo. Isso provoca um tremido em prêto à freqüência de 5 Hz (velocidade de rotação do disco). Em segundo lugar, as côres vermelha, verde e azul subjetivas são produzidas cada qual no decorrer de um sexto de volta diferente do disco. Essas regiões coloridas apresentam-se em branco durante a têrça parte restante da volta do disco. Isso introduz um tremido em branco nas regiões coloridas. As côres mistas não apresentam êste último tipo de tremido, uma vez que são combinações de mais de uma côr primária. O vermelho parece cintilar mais do que o verde ou o azul, mas isto constitui, acredita-se, um efeito fisiológico.

Butterfield não foi o primeiro a conceber e elaborar um processo viável de côr subjetiva para observação em televisores monocromáticos, porém seu método é, in-